



Työterveyslaitos | Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

Hiukkaset ja melu kestävässä kaivos- ympäristössä (HIME)

LOPPURAPORTTI

Markku Linnainmaa
Tomi Kanerva
Sampsa Törmänen
Piia Taxell

Tiina Santonen
Eija-Riitta Hyytinen
Ville Hyvärinen
Panu Oksa

Hiukkaset ja melu kestävässä kaivosympäristössä (HI ME)

LOPPURAPORTTI

Markku Linnainmaa, Tomi Kanerva, Sampsa Törmänen, Piia Taxell, Tiina Santonen, Eija-
Riitta Hyytinen, Ville Hyvärinen, Panu Oksa

Työterveyslaitos

Helsinki 2016

Työterveyslaitos

PL 40

00251 Helsinki

www.ttl.fi

© 2016 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Julkaisu on toteutettu Tekesin tuella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-625-8 (PDF)

TIIVISTELMÄ

Kaivostoiminnassa ja siihen liittyvässä malmin käsittelyssä (mm. murskaus, jauhatus, metallien rikastaminen) syntyy melua ja vapautuu ilmaan hiukkasia, jotka voivat vaikuttaa haitallisesti työntekijöiden terveyteen ja hyvinvointiin. Hankkeessa tutkittiin yksityiskohtaisesti hiukkas- ja melupäästöjä sekä työntekijöiden altistumista malmin louhintasyklin eri vaiheissa, kuljetuksessa ja metallin rikastamisprosesseissa. Kohteina olivat maanalainen kaivos, avolouhos ja malmin sulatusprosessit. Hiukkasten kemiallista koostumusta mitattiin useissa kokoluokissa sekä näytteitä keräävillä menetelmillä että reaaliaikaisesti ja hiukkasia tuottavat lähteet ja prosessit tunnistettiin. Lisäksi tutkittiin uuden polven uusiutuvan dieselin käytön vaikutuksia työkoneiden päästöihin ja maanalaisen kaivostunnelin ilmanlaatuun. Hiukkasiin ja meluun liittyvät terveysriskit arvioitiin, keskeiset riskejä tuottavat kaivosprosessit tunnistettiin ja tehtiin ehdotuksia riskien vähentämiseksi. Hankkeen yhteydessä laadittiin myös ohjeet kaivosten asbestiriskien hallintaan sekä tavoitetasot kaivosten ilman hengittävälle ja alveolijakeiselle pölylle sekä päivitettiin dieselpakokaasujen tavoitetasoperustelumuistio.

ABSTRACT

Mining and associated ore crushing and grinding and metal enrichment processes produce noise and release particles into air, which may have adverse effects on the health and well-being of workers. The project investigated in detail the particle and noise emissions as well as their effects on the exposures of workers from the mining cycle of ore, its transport and the metal enrichment processes in connection to an underground mine and an open pit. The chemical composition of particles was measured in several size ranges, and the sources and processes emitting particles were identified. In addition, the effects of the use of modern renewable diesel fuel on the emissions from mining machines and on the air quality in an underground mine tunnel were examined. The health risks of workers associated with particles and noise were assessed and the main processes causing risks were identified. Suggestions were made on the risk control methods. Guidelines for the management of asbestos risks in mines, as well as target levels for inhalable and respirable dust in mines were also produced and target levels for diesel exhaust updated.

ALKUSANAT JA KIITOKSET

Hiukkaset ja melu kestävässä kaivosympäristössä (HIME) toteutettiin 1.1.2013 ja 31.10.2015 välisenä aikana. Konsortiohankkeen koordinaattorina oli Ilmatieteen laitos (IL) ja muina tutkimuslaitoksina Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL) ja Työterveyslaitos (TTL). Yritysosapuolina olivat Outokumpu Chrome Oy, Outokumpu Stainless Oy, FQM Kevitsa Mining Oy, Neste OYJ, Ecocat Oy, APL Systems Oy, Dekati Oy ja Pegasor Oy.

Tässä loppuraportissa esitetään hankkeen sisältö, tulokset ja johtopäätökset Työterveyslaitoksen osalta. IL ja THL laativat omat loppuraporttinsa. Hankkeen aikana syntyneet TTL:n julkaisut "Asbestiriskien hallintaohjeet kaivoksille" ja tavoitetasot kaivosten hengittyvälle ja alveolijakeiselle pölylle julkaistaan erikseen.

Hanketta rahoittivat tutkimuslaitosten lisäksi Tekes ja mukana olleet yritykset, joita kiitämme hankkeen mahdollistamisesta ja hyvästä yhteistyöstä. Lisäksi kiitämme TTL:n henkilökuntaa näytteiden analysoinnista ja muusta avusta hankkeen aikana.

Helsingissä, Oulussa ja Tampereella 26.2.2016

Kirjoittajat

SISÄLLYS

1	TUTKIMUSHANKKEEN TAUSTA JA TAVOITTEET	3
1.1	Tausta.....	3
1.2	Tavoitteet	4
2	AI NEI STO JA MENETELMÄT	5
2.1	Mittauskohteet.....	5
2.2	Ilman epäpuhtauspitoisuuksien mittaukset	5
2.2.1	Hiukkaset ja pöly	5
2.2.2	Muut ilman epäpuhtaudet	5
2.3	Melumittaukset	6
2.4	Terveysriskinarviointi	6
3	TULOKSET	7
3.1	Työpaikkamittaukset	7
3.1.1	Maanalainen kaivos	7
3.1.1.1	Hiukkaset ja pöly	7
3.1.1.2	Muut ilman epäpuhtaudet	13
3.1.1.3	Polttoainevertailut	14
3.1.1.4	Melu.....	18
3.1.2	Avolouhos	18
3.1.2.1	Hiukkaset ja pöly	18
3.1.2.2	Muut ilman epäpuhtaudet	22
3.1.2.3	Melu.....	23
3.1.3	Terästehdas	24
3.1.3.1	Hiukkaset ja pöly	24
4	TULOSTEN TARKASTELU JA POHDINTA	27
4.1	Työympäristön terveysriskien arviointi	27
4.1.1	Hiukkaset	27
4.1.1.1	Alveolijakeisen ja hengittävän pölyn terveysvaikutukset	27
4.1.1.2	Terveysriskien arviointi kaivoksessa	28
4.1.2	Dieselpakokaasut	29
4.1.2.1	Dieselpakokaasujen terveysvaikutukset	29
4.1.2.2	Terveysriskien arviointi kaivoksissa	30
4.1.3	Melu	33
4.1.3.1	Maanalainen kaivos	34



4.1.3.2	Avolouhos.....	34
5	Johtopäätökset ja toimenpidesuosituksset.....	36
5.1	Ilman epäpuhtaudet.....	36
5.2	Melu	37
	Lähteet.....	39

1 TUTKIMUSHANKKEEN TAUSTA JA TAVOITTEET

1.1 Tausta

Tutkimuksessa keskityttiin kahteen ilman kautta leviävään altisteeseen, hiukkasiin ja meluun, jotka STM:n alaiset tutkimuslaitokset totesivat yhteisessä SETURI-hankkeessaan erityisen haitallisiksi altisteiksi sekä työterveyden että ympäristöterveyden kannalta (Pekkanen 2010). Molemmat altisteet ovat tyypillisiä kaikille kaivoksille ja niiden lähiympäristöille. Lisäksi selvitettiin työntekijöiden altistumista ja altistumisen vähentämistä muille ilman epäpuhtauksille.

Kaivoksessa hiukkasia vapautuu työkoneiden dieselmootoreista, räjäytyksistä, louhinnasta sekä louhoksen kuljetuksesta, murskauksesta, jauhatuksesta ja metallin rikastamisesta esimerkiksi sulattamalla. Melun lähteet ovat pääosin samat kuin hiukkasilla. Monipuolisen kuvan saamiseksi tutkimus tehtiin Suomessa sekä maanalaisessa kaivoksessa että avolouhoksessa.

Hiukasmaisten ilman epäpuhtauksien pitoisuusmittaukset työpaikoilla perustuvat 1990-luvulla hyväksyttyihin kansainvälisiin kriteereihin, jotka huomioivat hiukkasten käyttäytymisen hengityselimistössä. Hiukkasten keräykseen käytetään standardien EN 481 (CEN 1993) ja ISO 7708 (ISO 1995) mukaisesti hengittyvää jaetta, keuhkotai alveolijaetta kerääviä laitteita. Hiukasmaisten ilman epäpuhtauksien työhygieeniset vertailuarvot (HTP-arvot) on pääsääntöisesti annettu hengittävälle pölylle, mutta joillekin altisteille on olemassa myös alveolijakeisen pölyn HTP-arvot (STM 2014).

Nano- ja pienhiukkaspitoisuuksia on mitattu hyvin vähän työpaikoilla, joissa esiintyy prosessipäästöjä, ja nanokoisten (<100 nm) hiukkasten terveysvaikutuksista on melko vähän tutkittua tietoa saatavilla. Pienhiukkasille ei myöskään ole vielä työhygieenisiä ohje- tai raja-arvoja. Sen takia on tärkeää saada lisätietoa pienhiukkasten pitoisuuksista erilaisissa työympäristöissä. Esimerkiksi valimoteollisuudessa pienhiukkaspitoisuudet voivat olla jopa useita kymmeniä kertoja suurempia kuin toimistotyypisessä ympäristössä (Oksa ym. 2008), ja niillä voi siten olla merkittäviä terveysvaikutuksia. Kaivosteollisuudesta ei tällaisia tietoja pitoisuustasoista ole aiemmin ollut saatavissa.

Työperäinen altistuminen dieselpakokaasuille on liitetty kohonneeseen keuhkosyöpärisäkiin useissa epidemiologisissa tutkimuksissa ja meta-analyseissä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa toteutetussa laajassa kaivostyöntekijöitä koskeneessa tutkimuksessa keuhkosyöpäkuolleisuus korreloi kumulatiiviseen dieselpakokaasualtistumisen kanssa (Attfield ym. 2012; Silverman ym. 2012). Maailman terveysjärjestön (WHO) alainen Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos (IARC) luokitteli vuonna 2012 dieselmootoreiden ja -polttoaineiden tuottamat pakokaasut ihmisessä syöpää aiheuttaviksi (luokka 1) (Benbrahim-Tallaa ym. 2012). Lisääntynyt näyttö dieselpakokaasujen karsinogeenisuudesta on myös käynnistänyt EU:n ja Pohjoismaiden työhygieenisiä raja-arvoehdotuksia laativissa asiantuntijaelimissä pohdintaa dieselpakokaasualtistumisen vähentämisestä (mm. Taxell ym. 2015).

Suomalainen öljyalan yritys (Neste Oyj) on kehittänyt uuden polven parafiinisen biopolttoaineen, hydratun kasvöljyn NEXBTL, joka soveltuu sekä vanhoihin että kaikkein nykyaikaisimpiin moottoreihin. Se toimii moottoreissa ja nykyaikaisten pakokaasukatalysaattorien kanssa vähintään yhtä hyvin kaikkina vuodenaikoina kuin nykyisin EU-maissa käytetty fossiilinen dieselpolttoaine EN590. Erittäin tehokas dieselpakokaasu ja niiden hiukkasia hapettava katalysaattoriteknikka (DOC/POC) on myös kehitetty suomalaisessa yrityksessä (Ecocat Oy). Suomessa on lisäksi kehitetty dieselpakokaasujen mittauksessa maailmanlaajuisesti käyttöönotettua mittaustekniikkaa (Dekati Oy) sekä pakokaasupäästöjen äkillisen suurentumisen (esim. moottori- ja katalysaattoriviat) välittömästi ilmoittava, pakokaasujärjestelmään asennettava sensoriteknikka (Pegasor Oy).

VTT:n tutkimuksissa NEXBTL + DOC/POC -yhdistelmä vähensi hiukkaspäästöjä raskailla dieselmootoreilla jopa 75 % (Murtonen ym. 2010). Pakokaasuissa ei ollut juuri lainkaan syöpävaarallisia PAH-yhdisteitä, eivätkä ne aiheuttaneet mutageenisuutta bakteeritestissä kuten fossiilinen dieselpolttoaine EN590. THL:n nisäkässolututkimuksissa NEXBTL + DOC/POC polttoaineen käytön yhteydessä kerätyt raskaan dieselmootorin päästöhiukkaset eivät aiheuttaneet keuhkojen keskeisen puolustussolutyyppin, makrofagien, viljelmässä merkittävää solumyrkyllisyyttä tai DNA-vaurioita (Jalava ym. 2010).

1.2 Tavoitteet

HIME-projektin tavoitteena oli vastata hiukkasten ja melun osalta kysymyksiin, jotka liittyvät tulevaisuuden ns. huomaamattomaan kaivostoimintaan:

- *Mitkä ovat objektiivisesti mitaten kaivostoiminnasta ilman kautta leviävien hiukkasten ja melun lähteet, erityisominaisuudet ja mitä terveys- ja hyvinvointiriskejä ne aiheuttavat työntekijöissä ja lähiympäristön väestössä?*
- *Mitä monitorointi- ja torjuntakeinoja voitaisiin perustellusti liittää osaksi tulevaisuuden kaivoksen prosessinhallintaa haitallisten ilman kautta leviävien altisteiden minimoimiseksi?*

Kaivostoiminta laajentuu Suomessa nopeasti, joten hiukkasten ja melun hallintamenetelmiä tulee tutkia ja kehittää, jotta tulevaisuuden kaivostoiminta voidaan toteuttaa ilman merkittäviä haittoja työntekijöille tai kaivosten lähialueiden väestöille. Samalla tarjoutuu erinomainen tilaisuus laajentaa suomalaisten mittaus- ja teknologiainnovaatioiden sovellusalueita ja aloittaa uusien teknologioiden ja palvelujen vienti ulkomaisiin kaivoksiin etulyöntiasemasta.

Ympäristökysymysten hallinta on nykyään tärkeä kilpailutekijä ja myös keskeinen tekijä uusien kaivoshankkeiden yhteiskunnallisessa hyväksynnässä ja viranomaisten lupaprosesseissa. Tällä hankkeella oli tarkoitus vahvistaa kaivostoiminnan kestävyttä monilla ilmajälitteisiin altisteisiin liittyvillä osa-alueilla.

Tässä raportissa kuvataan HIME-hankkeen tavoitteiden toteutumista työntekijöiden altistumisen ja siitä aiheutuvien terveysriskien sekä altistumisen hallinnan osalta (Työterveyslaitoksen osuus hankkeessa).

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Mittauskohteet

Perusteelliset hiukkasten, muiden ilman epäpuhtauksien ja melun mittaukset tehtiin maanalaisella kromia tuottavalla kaivoksella sekä nikkeliä ja kuparia tuottavalla avolouhoksella tyypillisissä prosesseissa (räjäytys, louhinta, louhoksen kuljetus, murskaus, jauhatus, ja metallien rikastaminen) sekä terästehtaan ja ferrokromitehtaan sulatoissa. Mittauksia tehtiin työntekijöiden mukana kulkeneilla laitteilla sekä keskeisille paikoille sijoitetuilla mittausasemilla ja THL:n tutkimusautolla usean päivän aikana.

Maanalainen kaivos ja terästehdas

Mittaukset toteutettiin kaivostunnelissa sekä viimeisen malminkäsittelyprosessin osalta 25 km:n kuljetusmatkan päässä olevalla tehdasalueella. Mittalaitteita sijoitettiin THL:n tutkimusautoon, mittauskontteihin, kiinteisiin mittauspisteisiin ja työntekijöiden hengitysvyöhykkeelle. Pääosa mittalaitteista oli käytössä kaivostunnelissa normaalin räjäytys- ja louhintatyön aikana sekä dieselyökoneiden polttoainetutkimuksen aikana.

Uusiutuvan dieselin vaikutusta dieselyökoneiden päästöihin ja työntekijöiden altistumiseen tutkittiin mittaamalla kaivostunnelin ilman epäpuhtauspitoisuuksia kummankin dieselyypin käytön aikana. Mittausjaksojen välissä kaikkiin työkoneisiin vaihdettiin uusiutuva diesel perinteisen polttoaineen tilalle.

Avolouhos

Avolouhoksella oli hiukkasten mittalaitteita työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä, kiinteissä mittauspisteissä, edustaville paikoille sijoitetuissa mittauskonteissa ja mittauspaikkaa vaihtaneessa THL:n tutkimusautossa.

2.2 Ilman epäpuhtauspitoisuuksien mittaukset

2.2.1 Hiukkaset ja pöly

Hiukkasten massapitoisuus (hengittävä pöly, alveolijae): Hengittävä pöly ja pölyn alveolijae kerättiin IOM-vahtokeräimillä, joissa oli selluloosa-asetaattisuodattimet. Analyysit tehtiin gravimetrisesti.

Pienihiukkaspitoisuudet: Hiukkasten pitoisuuksia mitattiin lukumääräpitoisuuksina (kondensatiohiukkaslaskuri, CPC, TSI, USA), massapitoisuuksina (optinen hiukkaslaskuri, Grimm 1.108, Grimm Technologies, Saksa) sekä kokojaoteltuina lukumääräpitoisuuksina (sähköinen kokoluokittelija, SMPS, Grimm Technologies, Saksa). Käytetyt laitteet olivat tyypillisiä suoraan osoittavia kiinteiden mittauspisteiden mittalaitteita. Työntekijän henkilökohtaisen altistumisen mittauksessa käytettiin kannettavaa hiukkasmittaria (diffuusiovaraaja, DISCmini, Matter Aerosol).

Pölynäytteistä tehty kemialliset määritykset: Kerätyistä alveolijakeisen pölyn näytteistä analysoitiin kiinteinen piidioksidi (kvartsi) infrapunaspektrometrialla (FT-IR) tai röntgendiffraktiolla. Arseeni ja metallit määritettiin hengittävistä pölystä induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometrillä (ICP-MS).

Työterveyslaitoksella hengittävän ja alveolijakeisen pölyn näytteenotto ja analyysi sekä kvartsipölyn määrittäminen ja arseenin ja metallien määrittäminen ovat akkreditoituja menetelmiä.

2.2.2 Muut ilman epäpuhtaudet

Dieselnoki kerättiin kvartsikuitusuodattimille syklonin avulla. Orgaaninen ja alkuainehiili määritettiin CANMET-MMSL-laboratoriossa Kanadassa.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (volatile organic compounds, VOC) kerättiin adsorbenttiin ja analysoitiin termodesorptio-kaasukromatografisella menetelmällä (TD-GC-MS). Kokonaispitoisuuden (TVOC) lisäksi määritettiin terveysriskien, esim. syöpärisikin, kannalta oleellisten yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet (mm. bentseeni). VOC-yhdisteiden näytteenotto- ja analyysimenetelmä ovat akkreditoituja.

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH) kerättiin adsorptioputkiin (kaasumaiset) ja lasikuitusuodattimille (hiukkasmaiset) ja analysoitiin nestekromatografisesti.

Typpidioksidi- ja typpimonoksidipitoisuuksia mitattiin kemiluminesenssiin perustuvalla suoraan osoittavalla mittarilla (API malli 200E).

Asbestikuidut kerättiin ilmasta polykarbonaattisuodattimille ja analysoitiin elektronimikroskoopilla ja siihen liittyllä alkuaineanalysaattorilla.

2.3 Melumittaukset

Melualtistumismittaukset tehtiin standardin ISO 9612:2009 mukaisesti seurantamenetelmällä, jossa meluannosmittari asetettiin työntekijälle ja mittari kulki noin 4-6 tuntia työntekijän mukana. Mittauslaitteina käytettiin L&D Spark 706 ja 705 meluannosmittareita, jotka rekisteröivät melun ekvivalenttitason ja huippuarvon minuutin välein.

2.4 Terveysriskinarviointi

Terveysriskinarvioinnissa hyödynnettiin viimeaikaisia tutkimustuloksia ja niiden perusteella laadittuja katsauksia dieselpakokaasujen, epäspesifisen alveolipölyn ja typen oksidien kriittisistä vaikutuksista ja niiden annosvastesuhteista. Näiden pohjalta arvioitiin mitattuun dieselpakokaasualtistumiseen liittyvä laskennallinen syöpäriski sekä epäspesifisen pölyn ja typen oksidien aiheuttamien keuhkofunktiovaikutusten riskiä. Tulosten pohjalta annettiin suositukset tavoitetasoiksi dieselpakokaasuille ja alveolipölylle kaivostyössä. Nämä suositukset julkaistaan erillisinä tavoitetasomuistioina Työterveyslaitoksen internet-sivuilla (www.ttl.fi/tavoitetasot).

3 TULOKSET

3.1 Työpaikkamittaukset

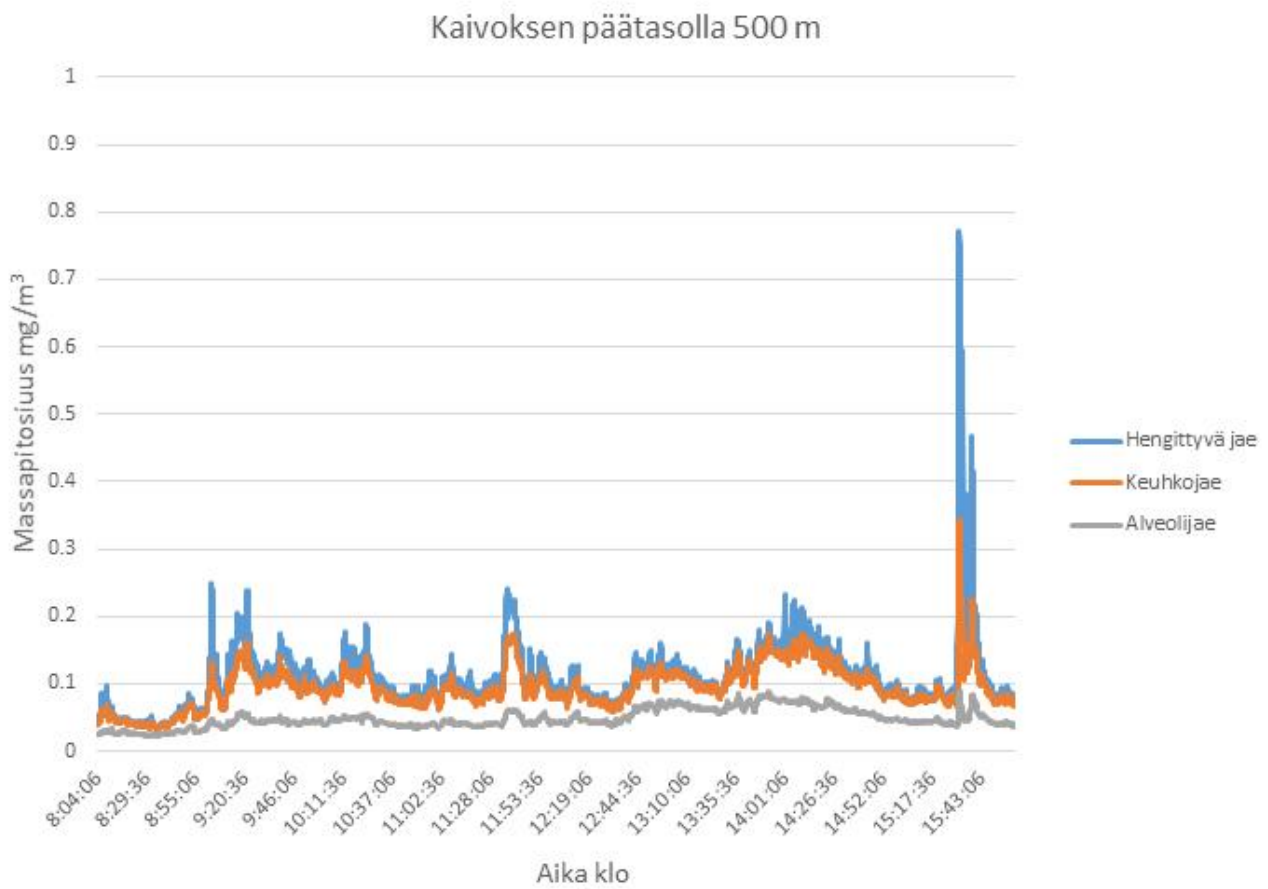
Työpaikkamittauksia tehtiin erityyppisissä kaivosolosuhteissa: maanalaisessa kaivoksessa malmin louhintatyössä, avolouhoksella malmin louhintatyössä ja rikastamon ja myllyn raaka-aineen käsittelyssä, sekä kaivoksen raaka-aineketjun loppupäässä terästehtaalla.

3.1.1 Maanalainen kaivos

Kaivoksella tehtiin mittauksia kahdessa jaksossa, jossa toisen jakson yhteydessä kaivoksen ajoneuvoissa oli polttoaineena uusiutuva diesel muutaman päivän ajan. Kaivoksessa mitattiin päätasolla 500 metrin syvyydessä kiinteässä mittauspisteessä, THL:n liikuteltavalla mittausautolla kaivostunneleissa eri mittauspaikoissa sekä kaivosajoneuvoissa ja työntekijöiltä heidän työtehtäviensä aikana. Melumittauksia tehtiin maan alla, ja kohteina olivat vuorotyönjohtaja, lastauskoneen kuljettaja ja kuorma-auton kuljettaja. Mittauksia tehtiin 11 päivän aikana pääasiassa työvuorojen aikana työntekijöiden altistumisen selvittämiseksi. Eri mittauksen kokonaislukumäärä ylitti 200 kappaletta.

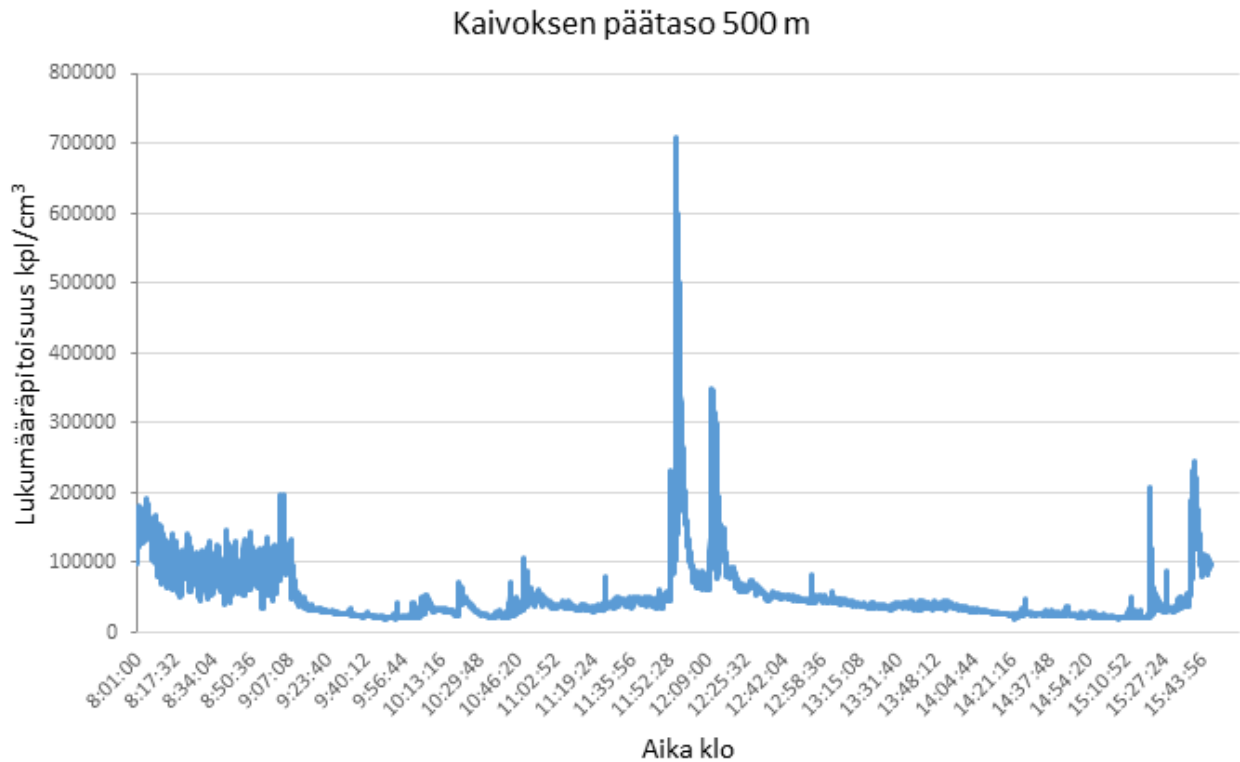
3.1.1.1 Hiukkaset ja pöly

Kaivoksen päätasolla (500 m) hiukkasten massapitoisuudet olivat alhaiset. Hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuudet olivat alle $0,2 \text{ mg/m}^3$ molemmilla mittausjaksoilla. Suoraan osoittavan hiukkasmittarin työhygieenisten jakeiden (hengittyvä, keuhko- ja alveolijae) mittauksessa pitoisuudet olivat myös hyvin alhaiset, keskimäärin $0,05 \text{ mg/m}^3$ hengittyvälle jakeelle ja $0,04 \text{ mg/m}^3$ ja $0,02 \text{ mg/m}^3$ vastaavasti keuhko- ja alveolijakeille. Esimerkki pitoisuusvaihtelusta yhden päivän aikana on kuvassa 1.



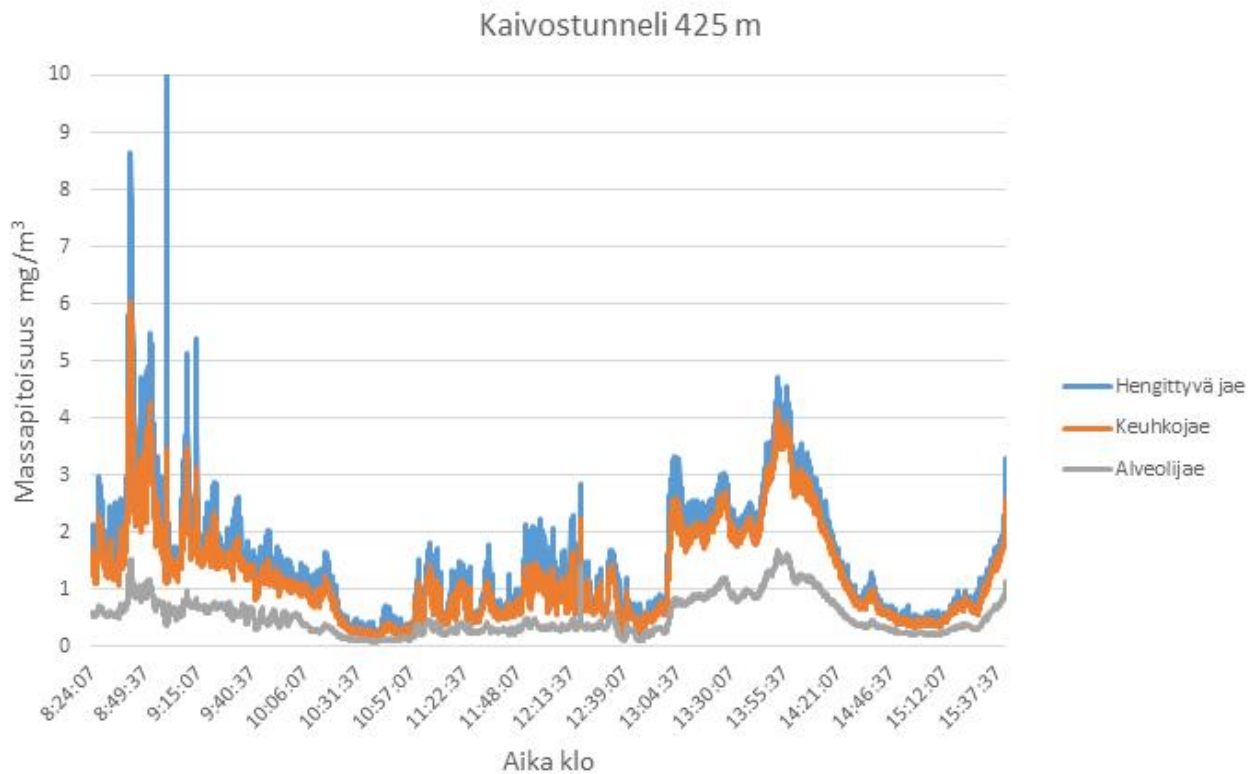
Kuva 1. Työhygieenisten hiukkasjakeiden massapitoisuuksien vaihtelu yhden työpäivän aikana kaivoksen päätasolla 500 metrin syvyydessä. (Huom. massapitoisuusasteikko eri kuin kuvassa 3).

Hiukkasten lukumääräpitoisuus päätasolla vaihteli melko paljon, 1. jakson mittauksissa tyypillisesti välillä 20 000 – 100 000 kpl/cm^3 ja 2. jakson mittauksissa 20 000- 500 000 kpl/cm^3 sekä fossiilisen polttoaineen että uusiutuvan dieselin kanssa. Kuvassa 2 on esimerkki yhden päivän pitoisuusvaihtelusta.



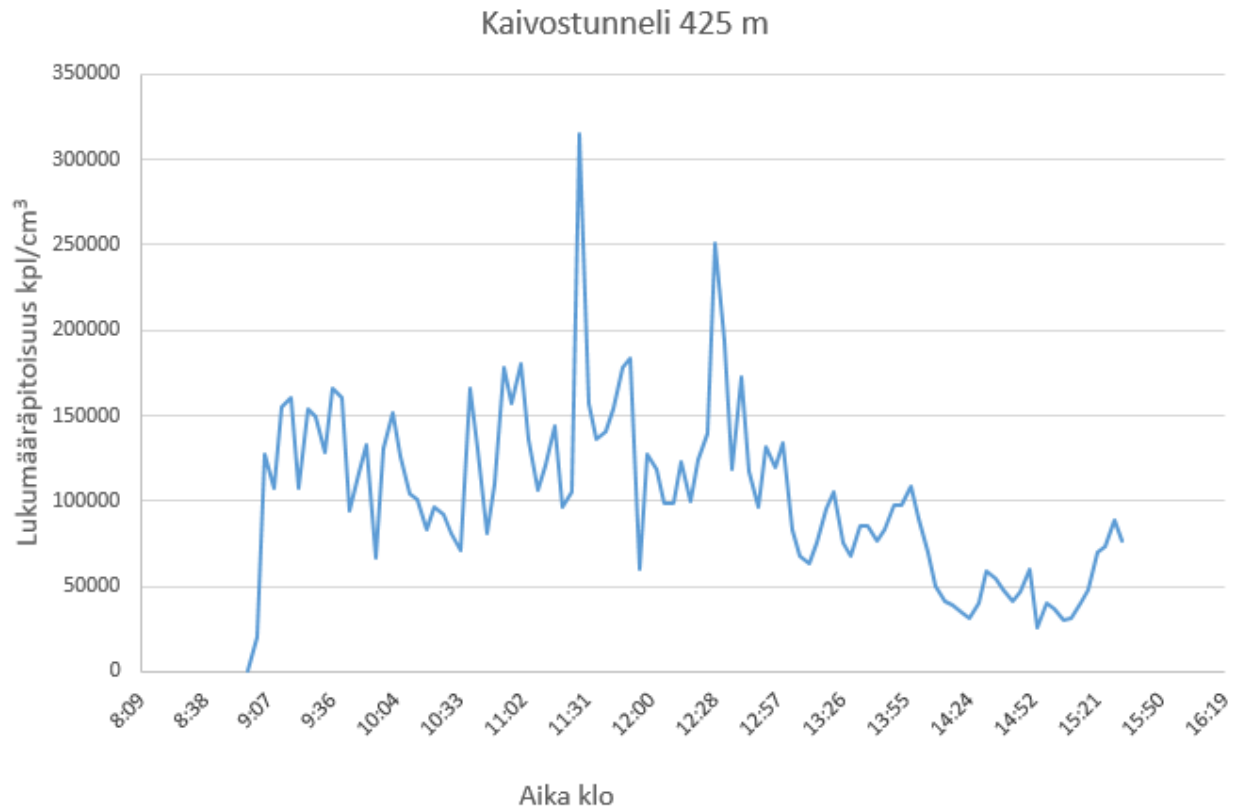
Kuva 2. Hiukkasten (0,01 - 1 µm) lukumääräpitoisuuden vaihtelu työpäivän aikana kaivoksen päätasolla 500 metrin syvyydessä.

Kaivostunneleiden mittauksissa, eri syvyyksillä kaivoksen prosessin etenemisestä riippuen, hiukkasten massapitoisuudet olivat työvuorojen aikana hieman korkeammat kuin päätasolla vaihdellen välillä 0,13 – 1,10 mg/m³ (hengittyvä pöly) ja 0,12 – 0,76 mg/m³ (alveolipöly). Suoraan osoittavan mittalaitteen työhygieenisten jakeiden mittauksissa oli ajankohdasta ja kaivosprosessin vaiheesta riippuen suurta pitoisuusvaihtelua pitoisuuksien ollessa yleisesti paljon korkeammalla tasolla kuin päätasolla, keskimäärin 1,5 mg/m³ hengittyvälle jakeelle ja 1,2 mg/m³ ja 0,46 mg/m³ vastaavasti keuhko- ja alveolijakeille (kuva 3). Tähän korkeampaan pitoisuuteen on osasyynä ko. mittalaitteen sijainti kaivostunneleissa. Suoraan osoittava laite oli liikkuvan THL:n mittausauton mukana paikoissa, joissa oli ajoittain hyvin suuri pölypitoisuus, eikä siitä johtuen työntekijöitä juurikaan.

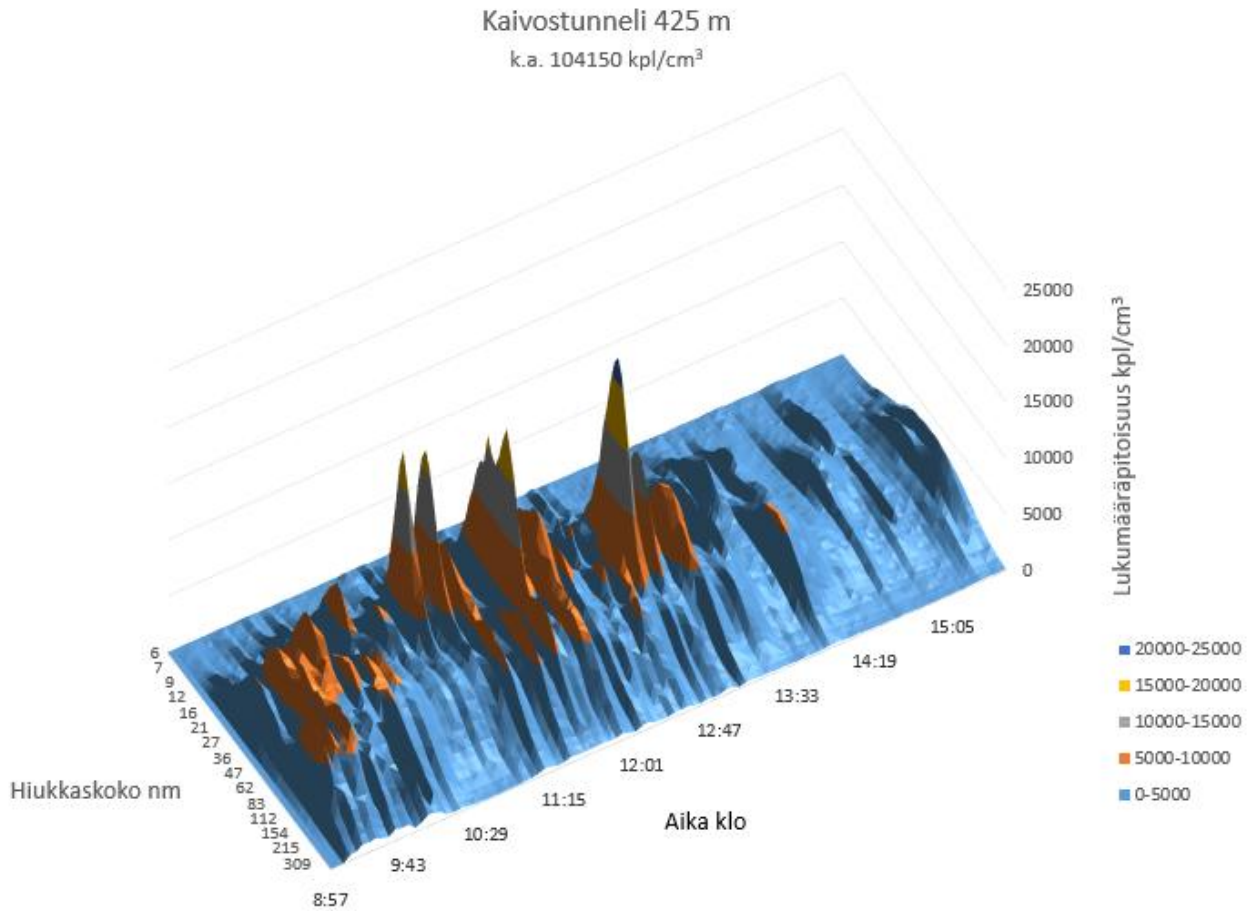


Kuva 3. Työhygieenisten hiukkasjakeiden massapitoisuuksien vaihtelu yhden työpäivän aikana kaivostunnelissa 425 metrin syvyydessä. (Huom. massapitoisuusasteikko eri kuin kuvassa 1.)

Hiukkasten lukumääräpitoisuus vaihteli paljon, välillä 20 000 -1 400 000 kpl/cm^3 . Esimerkki pitoisuusvaihtelusta on kuvassa 4. Hiukkaskokojakauman mittauksissa lukumääräpitoisuudelle keskimääräinen halkaisijan koko oli 0,040 μm ja mediaani 0,039 μm (kuva 5).



Kuva 4. Hiukkasten ($0,005 - 0,350 \mu\text{m}$) lukumääräpitoisuuden vaihtelu yhden työpäivän aikana kaivostunnelissa 425 metrin syvyydessä.



Kuva 5. Lukumääräpitoisuuden hiukkaskokojakauma (0,005 – 0,350 µm) työpäivän aikana kaivostunnelissa 425 metrin syvyydessä.

Työntekijöiden henkilökohtaisen altistumisen mittauksissa kaivosajoneuvon kuljettajan ja työnjohtajan hengitysvyöhykkeellä pitoisuus vaihteli runsaasti ajankohdasta ja kaivosprosessin vaiheesta riippuen (lukumääräpitoisuuden vaihtelua, kuva 6). Työnjohtajalla hengittyvän pölyn massapitoisuudet olivat keskimäärin 0,49 mg/m³ vaihdellen välillä 0,28 – 0,76 mg/m³, ja alveolijakeisen pölyn massapitoisuudet olivat keskimäärin 0,57 mg/m³ vaihdellen välillä 0,15 – 1,1 mg/m³. Hiukkasten lukumääräpitoisuus oli keskimäärin 86 000 kpl/cm³. Kuljettajalla hengittyvän pölyn massapitoisuudet olivat keskimäärin 0,60 mg/m³ vaihdellen välillä 0,26 – 0,82 mg/m³, ja alveolijakeisen pölyn massapitoisuudet olivat keskimäärin 0,74 mg/m³ vaihdellen välillä 0,25 – 1,3 mg/m³ (taulukko 1).



Kuva 6. Hiukkasten lukumääräpitoisuus työnjohtajalla kaivoksessa yhden työpäivän aikana.

3.1.1.2 Muut ilman epäpuhtaudet

Dieselnokipitoisuus kaivoksen päätasolla oli keskimäärin $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vaihteli välillä $0,5 - 43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ päivästä riippuen. Kaivostunneleissa pitoisuus oli keskimäärin $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vaihteli välillä $24 - 111 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Työntekijöiden henkilökohtaisen altistumisen mittauksissa lastauskoneen kuljettajan hengitysvyöhykkeellä pitoisuus oli keskimäärin $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vaihteli välillä $15 - 173 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja kuorma-autossa pitoisuus oli keskimäärin $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vaihteli välillä $9 - 41 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Polysyklisen aromattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuuksia mitattiin huoltotasolta (12 näytettä), 500 metrin syvyydessä olleelta kontilta (8 näytettä), eri syvyyksillä olleen THL:n mittausauton katolta (4 näytettä), kahdesta lastauskoneesta (5 näytettä) ja louhoslastauksesta (1 näyte). Mitatut PAH-yhdisteet olivat naftaleeni, asenaftyleeni, asenafteeni, fluoreeni, fenantreeni, antraseeni, fluoranteeni, pyreeni, bentso[a]antraseeni, kryseeni, bentso[b]fluoranteeni, bentso[k]fluoranteeni, bentso[a]pyreeni, indeno[1,2,3-cd]pyreeni, dibentso[a,h]antraseeni ja bentso[ghi]peryleeni. Näistä yhdisteistä työhygieeniset raja-arvot (HTP-arvot) on olemassa ainoastaan naftaleenille (HTP_{8h}-arvo = $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja bentso[a]pyreenille (HTP_{8h}-arvo = $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Kaikkien mitattujen PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin pieniä. Naftaleenin pitoisuus oli enimmillään $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli $0,03 \%$ HTP_{8h}-arvosta ja bentso[a]pyreenin pitoisuus alle $0,5 \%$ HTP_{8h}-arvosta. Mitattavia pitoisuuksia saatiin naftaleenin lisäksi asenaftyleenille (enimmillään $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$), asenafteenille ($0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$), fluoreenille ($0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$), fenantreenille ($0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$), fluoranteenille ($0,003 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja pyreenille ($0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Kaikkien muiden mitattujen PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat menetelmän määritysrajaa pienempiä. Määritysrajat eri yhdisteille vaihtelivat kerätyistä ilmamääristä riippuen välillä $<0,0001 - <0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuuksia mitattiin 350 metrin syvyydessä olleen THL:n mittausauton katolta (4 näytettä). Kokonaispitoisuudet vaihtelivat välillä 10 – 960 µg/m³, jotka olivat yhtä lukuun ottamatta Työterveyslaitoksen antamaa tavoitetasoa (300 µg/m³) suurempia mutta alle teollisuusilmalle annetun viitearvon (3000 µg/m³). Yksittäiset yhdisteet olivat pääasiassa erilaisia hiilivetyjä, mutta jonkin verran esiintyi myös alkoholeja, aldehydejä ja ketoneja. Bentseenin pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,7 – 32 µg/m³. Bentseenille annettu sitova raja-arvo on 3250 µg/m³, joten mitatut pitoisuudet ovat hyvin pieniä (enimmillään noin 1 % raja-arvosta).

Asbestipitoisuuksia mitattiin kaivoksen päätasolla (500 m) sekä tunneleissa kiinteissä mittauspisteissä. Päätasolla pitoisuudet olivat alle puhtaan tilan raja-arvon (<0,01 kuitua/cm³), mutta huoltotasolla (350 m) asbestia esiintyi pitoisuudella 0,02 kuitua/cm³ ja kaivostunnelissa pitoisuudella 0,01 kuitua/cm³.

Typpioksidin ja –monoksidin pitoisuuksia mitattiin kaivostunnelissa 350 metrin syvyydellä huoltotasolla kaivosajoneuvojen polttoaineiden vertailutestien aikana. Typpioksidin NO pitoisuudet olivat keskimäärin n. 1700 ppb ja vaihtelivat välillä 750 - 2500 ppb fossiilisen polttoaineen käytön aikana. Uusiutuvan dieselin käytön aikana pitoisuus oli keskimäärin n. 1400 ppb ja vaihteli välillä 590 -2500 ppb.

Taulukko 1. Maanalaisen kaivoksen epäpuhtauksien mittauksia työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä. (Massapitoisuuksien tuloksissa < merkitsee mittausmenetelmän määrittämisrajan alittumista.)

Pvm	Työnjohtaja			Lastausajoneuvo			Kuorma-auto		
	Alveolipöly mg/m ³	Hengittyvä pöly mg/m ³	Lkm-pitoisuus ka. kpl/cm ³	Alveolipöly mg/m ³	Hengittyvä pöly mg/m ³	Dieselnoki µg/m ³	Alveolipöly mg/m ³	Hengittyvä pöly mg/m ³	Dieselnoki µg/m ³
25.3.				1,3		51,9			
26.3.	1,1		76000	0,46		173			
27.3.	0,85		96000			15,3			
4.6.									
5.6.	<0,15	0,42		<0,25	0,38	18,4	<0,26	<0,26	25,9
6.6.	0,16	0,76		<0,28	0,82	18,7	<0,29	<0,29	21,5
9.6.				0,45	0,63	37,2	<0,28	<0,28	41,3
10.6.	0,15	0,28		<0,25	0,58	29,1	<0,26	<0,26	9,4

3.1.1.3 Polttoainevertailut

Polttoaineiden päästövaikutusten vertailuja tehtiin mittaamalla epäpuhtauksia kahdessa jaksossa kaivoksella. Ensimmäisessä jaksossa ajoneuvojen käytössä oli fossiilinen polttoaine ja toisessa jaksossa uusiutuva diesel.

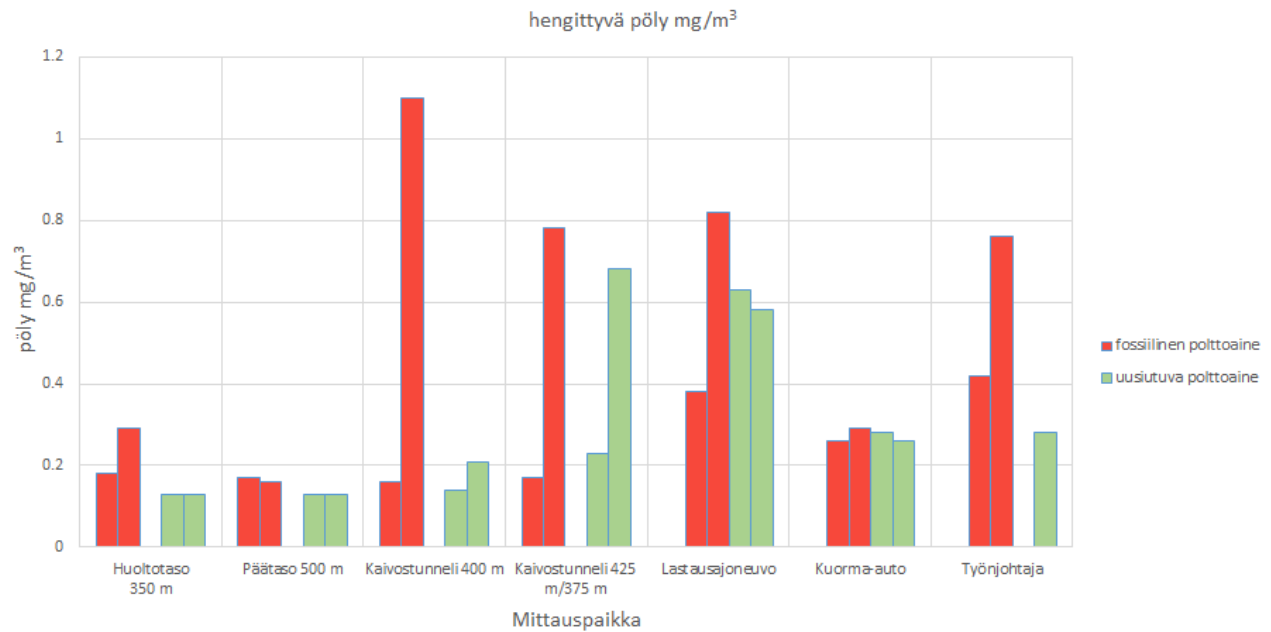
Alveolijakeisen ja hengittyvän pölyn massapitoisuuksia eri mittauspisteissä on vertailtu kuvissa 7 ja 8. Vertailuun on otettu molemmilla polttoaineilla kahden eri mittauspäivän tulos vierekkäin. Lisäksi kuvassa 9 on vastaavilta mittauspaikoilta dieselnokipitoisuuksien vertailua.

Maanalainen kaivos pre- ja nextbtl-testit



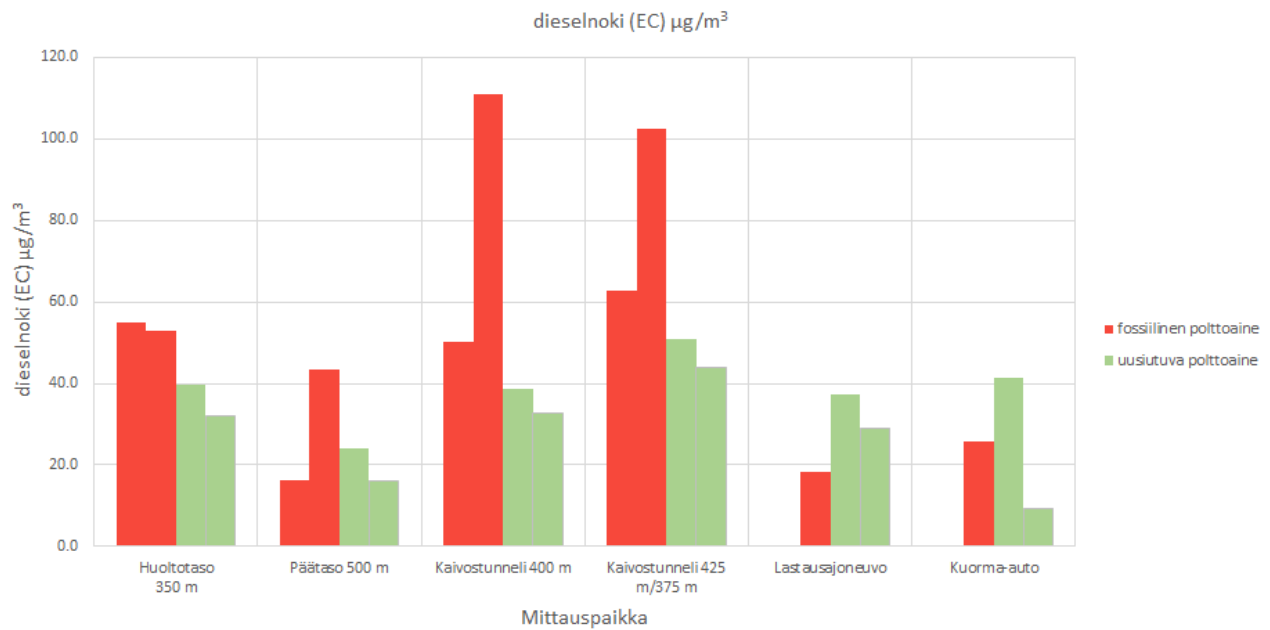
Kuva 7. Alveolijakeisen pölyn massapitoisuudet polttoaineiden vertailutestien aikana maanalaisessa kaivoksessa. Kuvassa yksi pylväs on yhden mittauspäivän tulos.

Maanalainen kaivos pre- ja nextbtl-testit



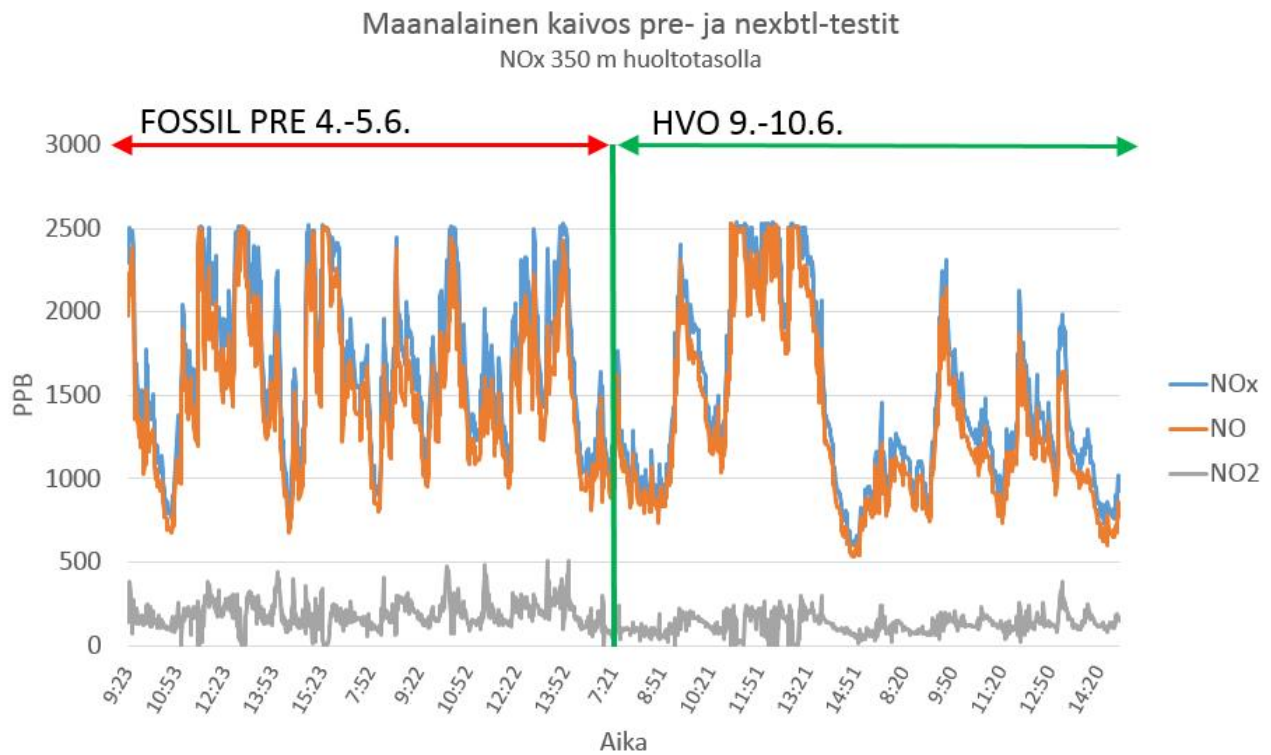
Kuva 8. Hengittävän pölyn massapitoisuudet polttoaineiden vertailutestien aikana maanalaisessa kaivoksessa. Kuvassa yksi pylväs on yhden mittauspäivän tulos.

Maanalainen kaivos pre- ja nextbtl-testit



Kuva 9. Dieselnoen massapitoisuudet polttoaineiden vertailutestien aikana maanalaisessa kaivoksessa. Kuvassa yksi pylväs on yhden mittauspäivän tulos.

Typpioksidin ja –monoksidin pitoisuuksia mitattiin kaivostunnelissa 350 m syvyydellä huoltotasolla kaivosajoneuvojen polttoaineiden vertailutestien aikana. Typpioksidin NO pitoisuudet olivat keskimäärin n. 1700 ppb ja vaihtelivat välillä 750 -2500 ppb fossiilisen polttoaineen käytön aikana. Uusiutuvan dieselin käytön aikana pitoisuus oli keskimäärin n. 1400 ppb ja vaihteli välillä 590 -2500 ppb (kuva 10).



Kuva 10. Typen oksidien pitoisuudet polttoaineiden vertailutestien aikana maanalaisessa kaivoksessa. ("fossil pre" on fossiilinen polttoaine ja "HVO" on uusiutuva polttoaine).

3.1.1.4 Melu

Maanalaisen kaivoksen työntekijöiltä tehtyjen melumittausten tulokset ovat taulukossa 2.

Taulukko 2. Työntekijöiden melualtistumisia maanalaisella kaivoksella.

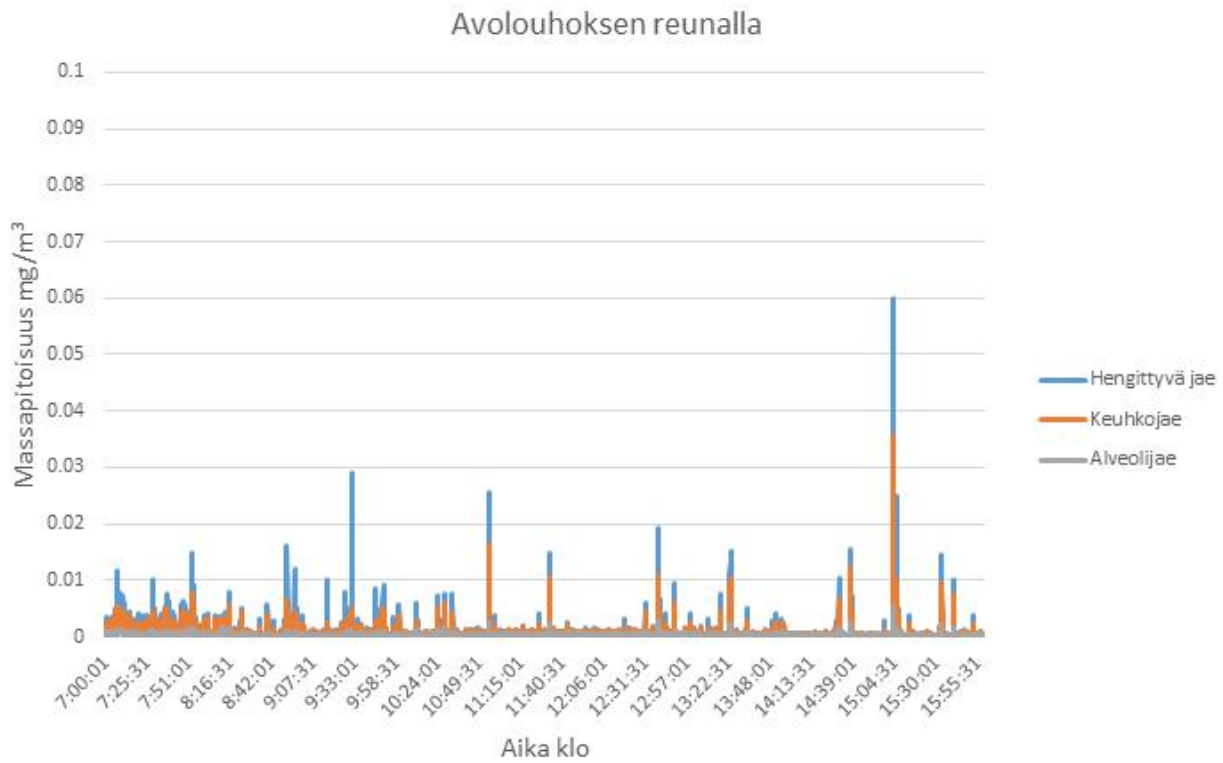
Työtehtävä/-ympäristö	Mittausaika	Melualtistus dB(A)	Impulssimelun huippupainetaso dB(C)
vuorotyönjohtaja/	26.3.2014	86	132
	9:42-14:01		
vuorotyönjohtaja/	27.3.2014	85	141
	9:52-14:00		
lastari/	26.3.2014	84	140
lastauskone CAT	10:45-13:40		
lastari/	27.3.2014	86	139
lastauskone CAT	10:18-13:52		
kuorma-auton kuljettaja/	26.3.2015	77	133
lastaus	10:22-13:43		
kuorma-auton kuljettaja/	27.3.2015	78	137
lastaus	10:23-13:52		
kiinteä mittauspiste kontin katolla, taso 500m	26.-27.3.2015	69	125
	7:59-8:54		
kiinteä mittauspiste, taso 350m	26.-27.3.2015	79	127
	9:58-10:05		

3.1.2 Avolouhos

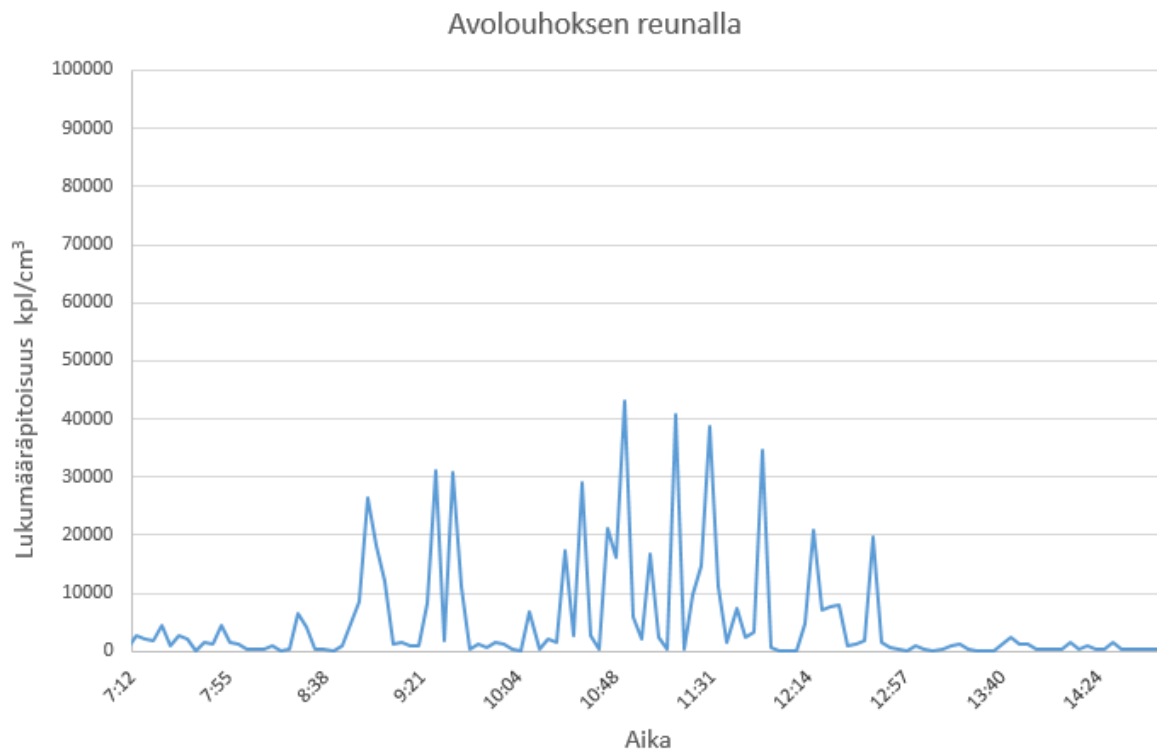
Avolouhoksella tehtiin mittauksia sekä louhoksella että malmin jatkokäsittelyn eri vaiheissa. Kaivoksessa mitattiin THL:n liikuteltavalla mittausautolla avolouhoksen eri osissa, reunoilla ja "montussa", sekä kaivosajoneuvoissa ja työntekijöiltä heidän työtehtäviensä aikana. Malmin jatkokäsittelyssä mittauksia tehtiin murskaamon, rikastamon ja myllyhallin osalta. Murskaamon mittaukset olivat myös ulkoilman mittauksia, kuten avolouhoksella. Rikastamon ja myllyhallin mittaukset tapahtuivat rakennuksen sisätiloissa. Melumittauksia tehtiin kiviauton ja lastauskoneen kuljettajilta sekä porarilta. Lisäksi mitattiin murska-, mylly- ja vaahdotusoperaattorin melualtistumisia. Mittauksia tehtiin 6 päivän aikana pääasiassa työvuorojen aikana työntekijöiden altistumisen selvittämiseksi. Eri mittausten kokonaismäärä oli lähes 100 kpl.

3.1.2.1 Hiukkaset ja pöly

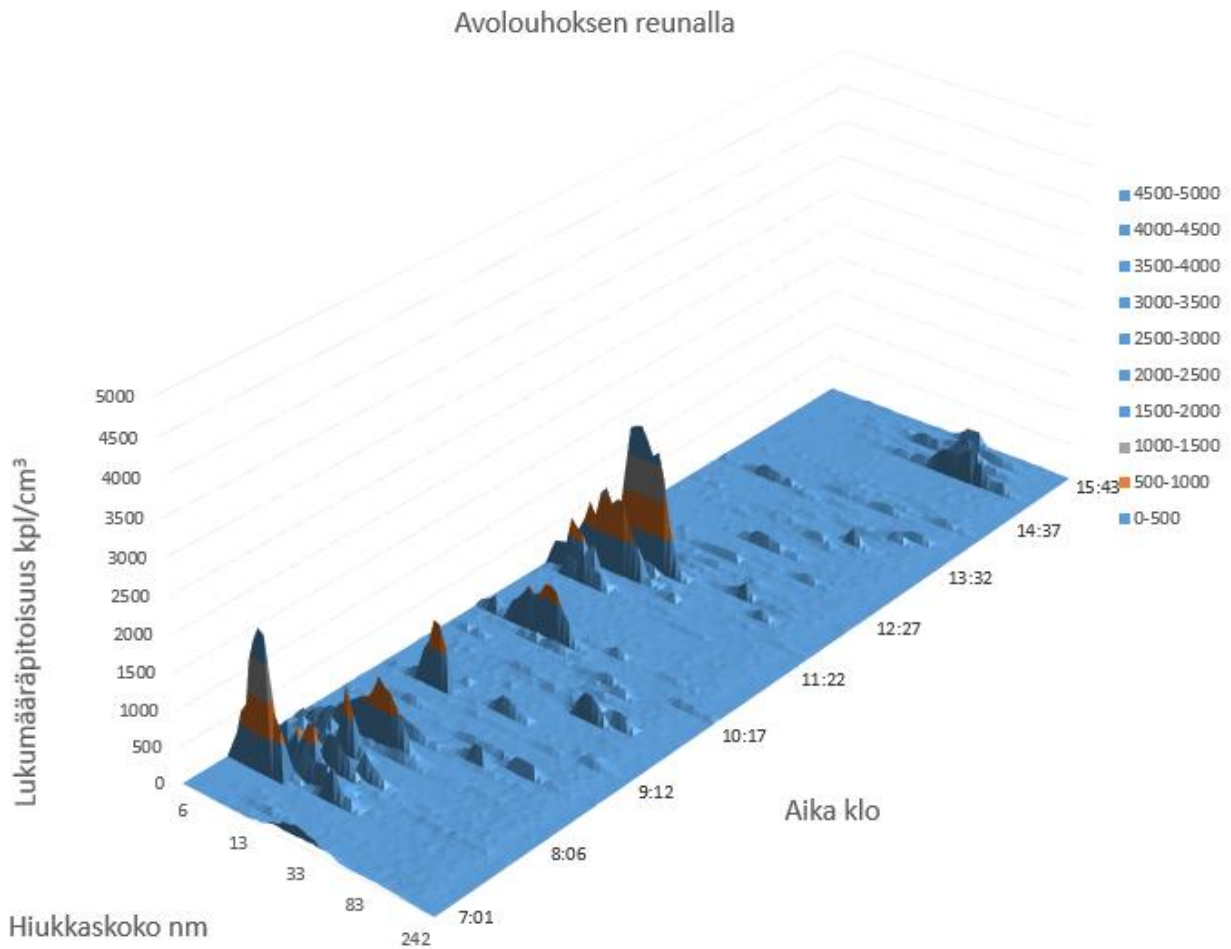
Avolouhoksella ja murskaamolla mitatut hiukkasten massapitoisuudet olivat melko alhaiset. Pölyn pitoisuudet vaihtelivat hengittyvän pölyn osalta välillä 0,08 - 4 mg/m³ ja alveolipölyllä 0,11 – 0,3 mg/m³. Suoraan osoittavan hiukkasmittarin työhygieenisten jakeiden (hengittyvä, keuhko- ja alveolijae) mittauksessa avolouhoksella keskimääräiset pitoisuudet olivat myös hyvin alhaiset, 0,1 mg/m³ hengittyvälle jakeelle ja 0,08 mg/m³ ja 0,03 mg/m³ vastaavasti keuhko- ja alveolijakeille. (kuva 11). Hiukkasten lukumääräpitoisuus vaihteli välillä 100 – 43000 kpl/cm³, keskiarvo 2200 kpl/cm³ (kuva 12). Lukumääräpitoisuuden hiukkaskokojakauma on esitetty kuvassa 13.



Kuva 11. Työhygieenisten hiukkasjakeiden massapitoisuudet yhden työpäivän aikana avolouhoksen reunalla.

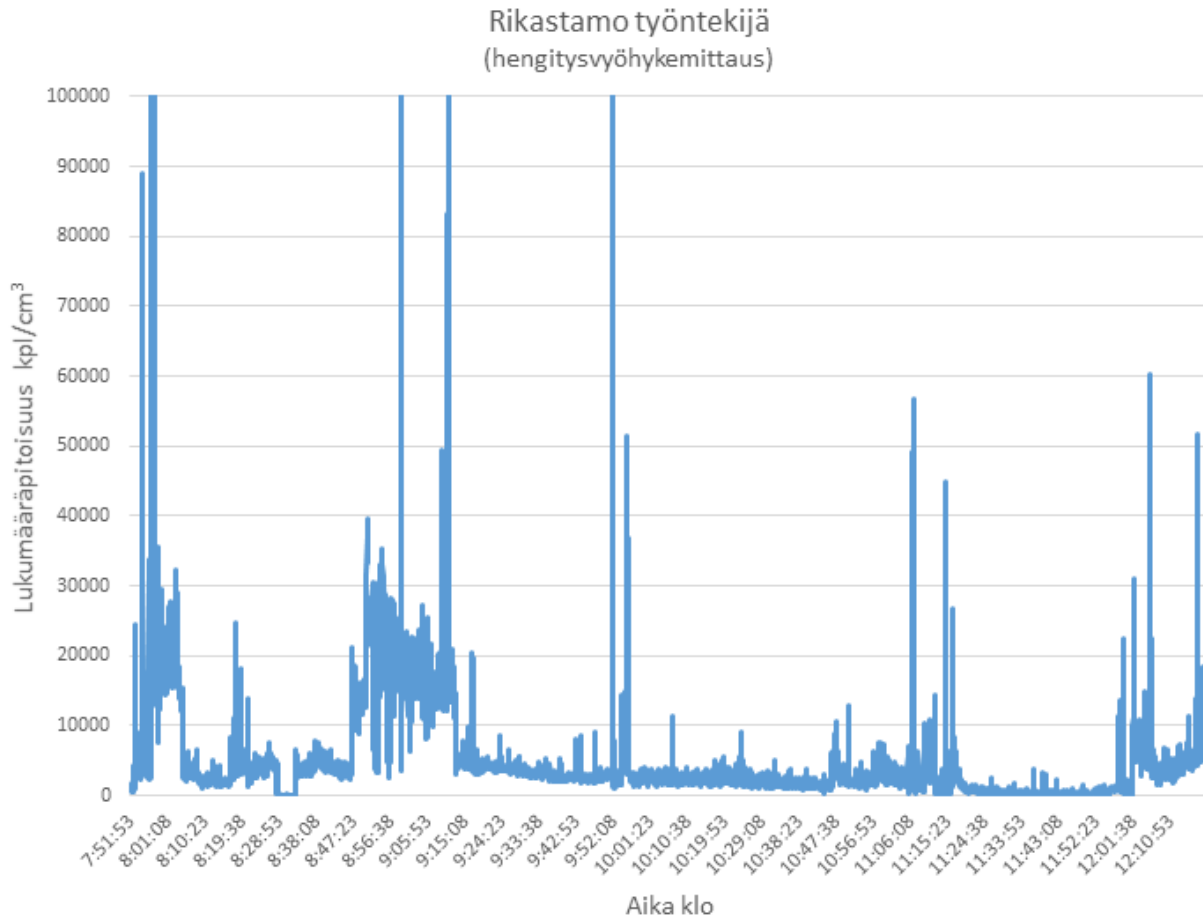


Kuva 12. Hiukkasten ($0,005 - 0,350 \mu\text{m}$) lukumääräpitoisuuden vaihtelu työpäivän aikana avolouhoksen reunalla.



Kuva 13. Lukumääräpitoisuuden hiukkaskokojakauma (kokoluokissa 0,005 – 0,350 μm) työpäivän aikana avolouhoksen reunalla.

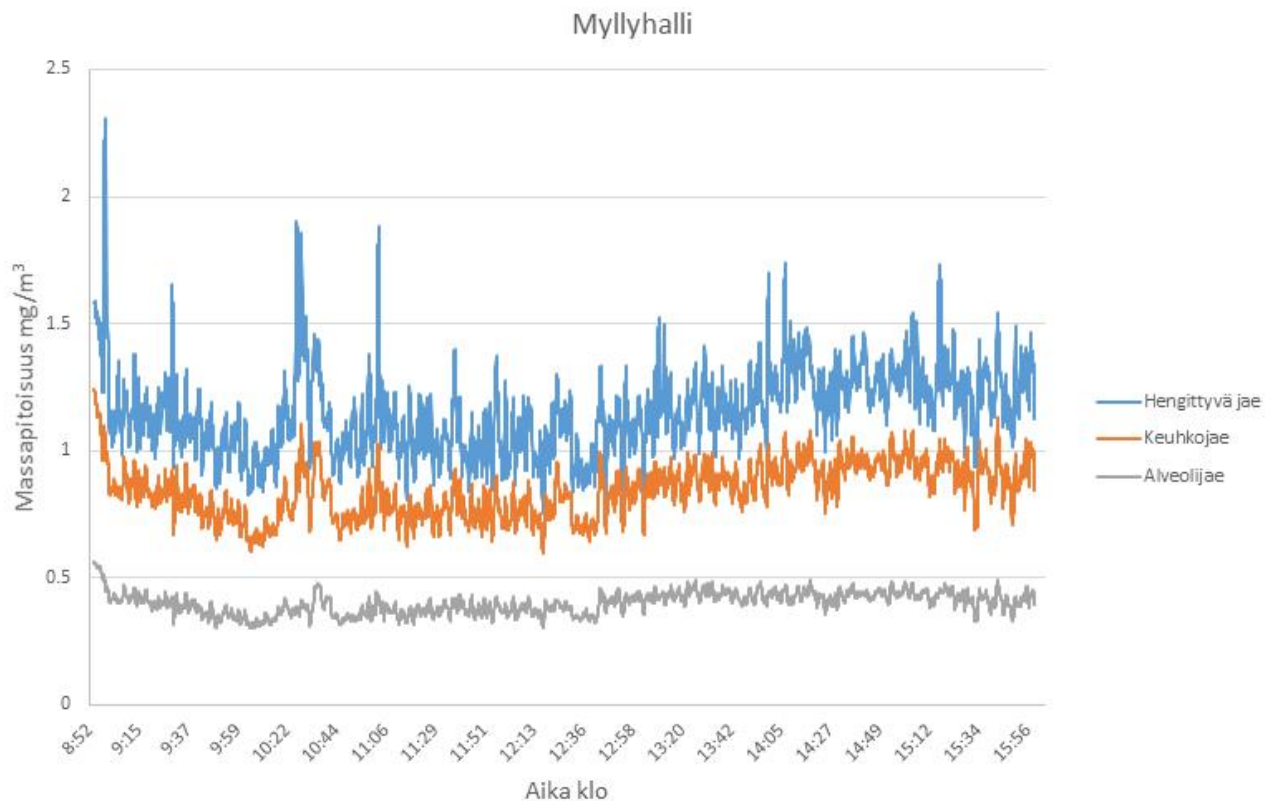
Rikastamon vaahdotushallissa hengittyvän pölyn pitoisuus oli 0,53 mg/m^3 ja 0,75 mg/m^3 ja alveolijakeinen pöly 0,29 mg/m^3 . Vaahdotushallin työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä mitatut massapitoisuudet olivat 1,8 mg/m^3 ja 1,9 mg/m^3 hengittyvälle pölylle ja 0,29 mg/m^3 ja 0,46 mg/m^3 alveolijakeiselle pölylle. Hiukkasten lukumääräpitoisuus työntekijän mittauksessa oli keskimäärin 7000 – 12 000 kpl/cm^3 (kuva 14) ja hallin kiinteässä mittauspisteessä keskimäärin 13 000 kpl/cm^3 .



Kuva 14. Hiukkasten (0,02- 0,7 μm) lukumääräpitoisuuden vaihtelu työntekijällä rikastamossa aamupäivän aikana.

Rikastamon myllyhallissa hengittyvää pölyä oli 0,86 -2,1 mg/m^3 ja alveolijakeista pölyä 0,66 – 0,99 mg/m^3 . Suoraan osoittavan hiukkasmittarin työhygieenisten fraktioiden mittauksessa keskimääräiset pitoisuudet olivat 1,2 mg/m^3 hengittyvälle jakeelle ja 0,9 mg/m^3 ja 0,5 mg/m^3 vastaavasti keuhko- ja alveolijakeille. (kuva 15).

Työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä ja kaivosajoneuvoista mitatut pölypitoisuudet ovat taulukossa 3.



Kuva 15. Työhygieenisten hiukkasjakeiden massapitoisuudet yhden työpäivän aikana myllyhallissa.

3.1.2.2 Muut ilman epäpuhtaudet

Dieselnoen pitoisuudet avolouhoksella olivat $0,02 - 0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja lastauskoneen hytissä $1,14 - 1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Polysyklisen aromattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuuksia mitattiin THL:n mittausauton katolta (6 näytettä), lastauskoneesta (2 näytettä), kiviautosta (2 näytettä) ja poravaunusta (2 näytettä). Mitatut PAH-yhdisteet olivat samat kuin maanalaisessa kaivoksessa (ks. kohta 3.1.1.2).

Kaikkien mitattujen PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin pieniä. Naftaleenin pitoisuudet olivat alle $0,002 \%$ ja bentso[a]pyreenin pitoisuudet alle $0,5 \%$ HTP₈-arvosta. Mitattavia pitoisuuksia saatiin fluoreenille ($0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$), fenantreenille ($0,013 \mu\text{g}/\text{m}^3$), antraseenille ($0,003 \mu\text{g}/\text{m}^3$), fluoranteenille ($0,003 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja pyreenille ($0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Kaikkien muiden mitattujen PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat menetelmän määrittämisrajan pienempiä.

Kvartsia mitattiin sekä avolouhoksella että poravaunussa kaivosmontussa, ja kvartsipitoisuus oli alhainen $<0,008 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Asbestipitoisuus oli poravaunun hytissä $0,02 - 0,03$ kuitua/ cm^3 ja rikastamon myllyhallissa $0,03 - 0,08$ kuitua/ cm^3 .

Lisäksi rikastamon vaahdotushallissa ja myllyhallissa mitattiin metallien pitoisuuksia. Arseenin ja sen epäorgaanisten yhdisteiden mittauksissa jäätettiin alle määrittämisrajan $<0,0001 \text{ mg}/\text{m}^3$. Kobolttia ja sen yhdisteitä mitattiin $0,0001 \text{ mg}/\text{m}^3 - 0,0006 \text{ mg}/\text{m}^3$. Kupariyhdisteiden ja -huurun pitoisuudet olivat $0,0006 \text{ mg}/\text{m}^3 - 0,027 \text{ mg}/\text{m}^3$ ja nikkelin $0,0002 \text{ mg}/\text{m}^3 - 0,0077 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Taulukko 3. Avolouhoksen ilman epäpuhtauksien mittaustuloksia työntekijöiden altistumisesta. (Massapitoisuuksien tuloksissa < merkitsee mittausmenetelmän määrittäysrajan alittumista.)

Pvm	Työntekijä			Lastausajoneuvo			Dumpperi	
	Alveolipöly mg/m ³	Hengittyvä pöly mg/m ³	Lkm-pitoisuus ka., kpl/cm ³	Alveolipöly mg/m ³	Hengittyvä pöly mg/m ³	Dieselnoki µg/m ³	Alveolipöly mg/m ³	Hengittyvä pöly mg/m ³
8.4.	0,46	1,9	12000	<0,12	0,18	1,77	<0,12	0,23
9.4.	0,29	1,8	7000	<0,13	0,36	1,14	<0,14	<0,14

3.1.2.3 Melu

Avolouhoksen työntekijöiltä tehtyjen melumittausten tulokset ovat taulukossa 4.

Taulukko 4. Työntekijöiden melualtistumisia avolouhoksella.

Työtehtävä/-ympäristö	Mittausaika	Melualtistus dB(A)	Impulssimelun huippupainetaso dB(C)
kiviauton kuljettaja/ CAT 793 nro 2	8.4.2014 9:09-13:31	77	134
kiviauton kuljettaja/ CAT 793 nro 1	9.4.2014 7:01-13:05	77	136
porari/ D65, nro 3	8.4.2014 9:15-13:58	84	143
porari poravaunu 941	9.4.2014 7:29-12:57	89	139
lastauskoneen kuljettaja/ PC 5500	8.4.2014 9:23-13:44	84	130
lastauskoneen kuljettaja/ PC 5500	9.4.2014 7:09-13:19	84	132
murskaoperaattori	8.4.2014 10:03-15:53	92	135
murskaoperaattori	9.4.2014 9:11-13:42	96	131
myllyoperaattori	8.4.2014 10:07-15:55	93	131
myllyoperaattori	9.4.2014 8:24-14:00	90	137
vaahdotusoperaattori/ työskenteli myllyhallissa	8.4.2014 9:55-16:35	88	130
vaahdotusoperaattori/ työskenteli vaahdotushallissa	9.4.2014 8:18-12:25	78	122

3.1.3 Terästehdas

Terästehtaalla mitattiin ferrokromisulatoilla ja terässulatolla ilmapitoisuuksia hengittyvälle ja alveolijakeiselle pölylle sekä hiukkasten lukumääräpitoisuuksia ja kokojakaumia. Kiinteitä mittauspisteitä valittiin useista eri prosessitiloista sekä valvomoista hiukkaspitoisuuksien ja niiden lähteiden ja leviämisen kartoittamiseksi. Työntekijöiden hengitysvyöhykemittauksia ei tehty. Eri mittauksia tehtiin kolmena päivänä vajaa 70 kappaletta.

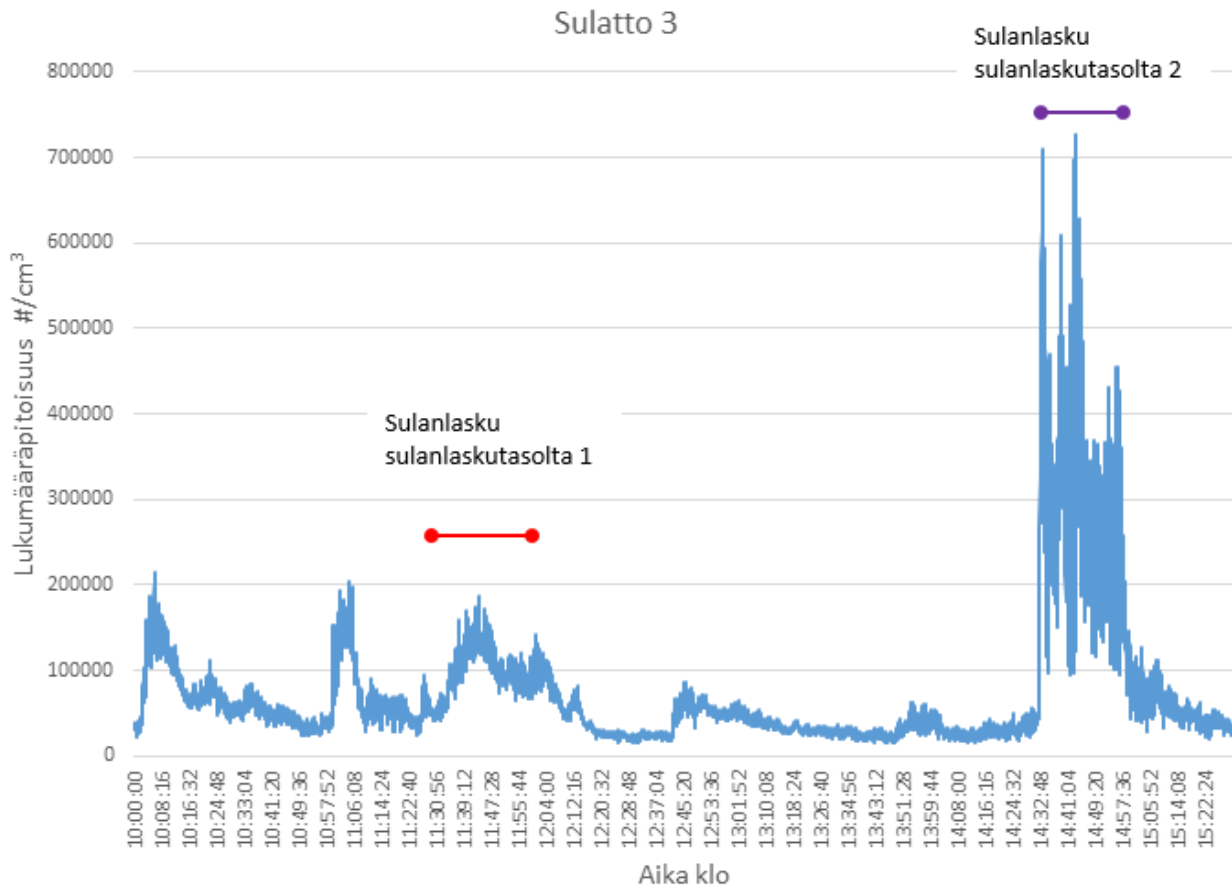
Ferrokromisulatoilla (sulatto 2 ja sulatto 3) mittauspisteinä olivat 6-kerroksisen rakennuksen 2. kerroksen holvitaso (ns. päämittaus) ja valvomo, sekä 4. ja 6. kerroksen tasot. Terässulatossa mitattiin AOD-tasolla (ns. päämittaus) ja 2. kerroksen valvomoissa (AOD-valvomo ja VKU2-valvomo) sekä 6. kerroksen tasolla. Sekä ferrokromisulatoilla että terässulatolla työntekijät ovat suurimman osan työpäivästä valvomoissa. Prosessitiloissa työskennellään vaihtelevasti ja alueella oleilua pyritään välttämään.

3.1.3.1 Hiukkaset ja pöly

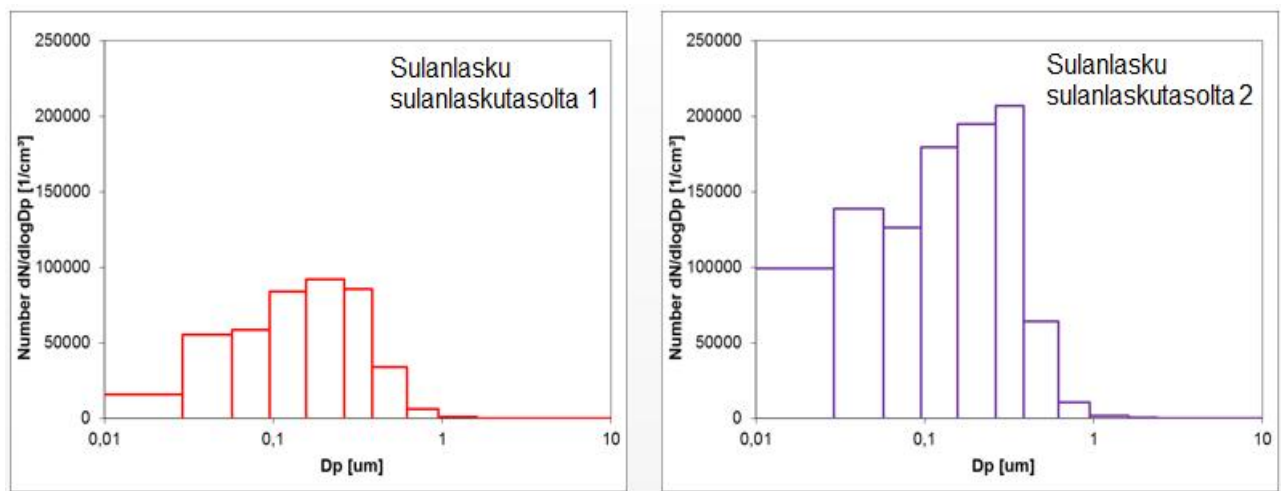
Ferrokromisulatot: Hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuudet ferrokromisulatoilla olivat alhaiset (taulukko 5.). Eri mittauspaikkojen välillä ei ollut havaittavissa merkittävää eroa pitoisuuksissa. Hiukkasten lukumääräpitoisuudet olivat prosessitiloissa korkeat, mutta valvomoissa huomattavasti alhaisemmat. Vanhemman sulaton (sulatto 2) valvomossa prosessitilasta pääsi valvomon ilmaan hieman prosessin hiukkasia. Lukumääräpitoisuus vaihteli huomattavasti prosessin vaiheista riippuen ja oli korkeimmillaan sulanlaskujen aikana (kuvat 16 ja 18). Kuvissa 17 ja 19 on esitetty hiukkaskokojakaumat sulanlaskujen aikana.

Taulukko 5. Ferrokromisulattojen epäpuhtauksien mittaustuloksia.

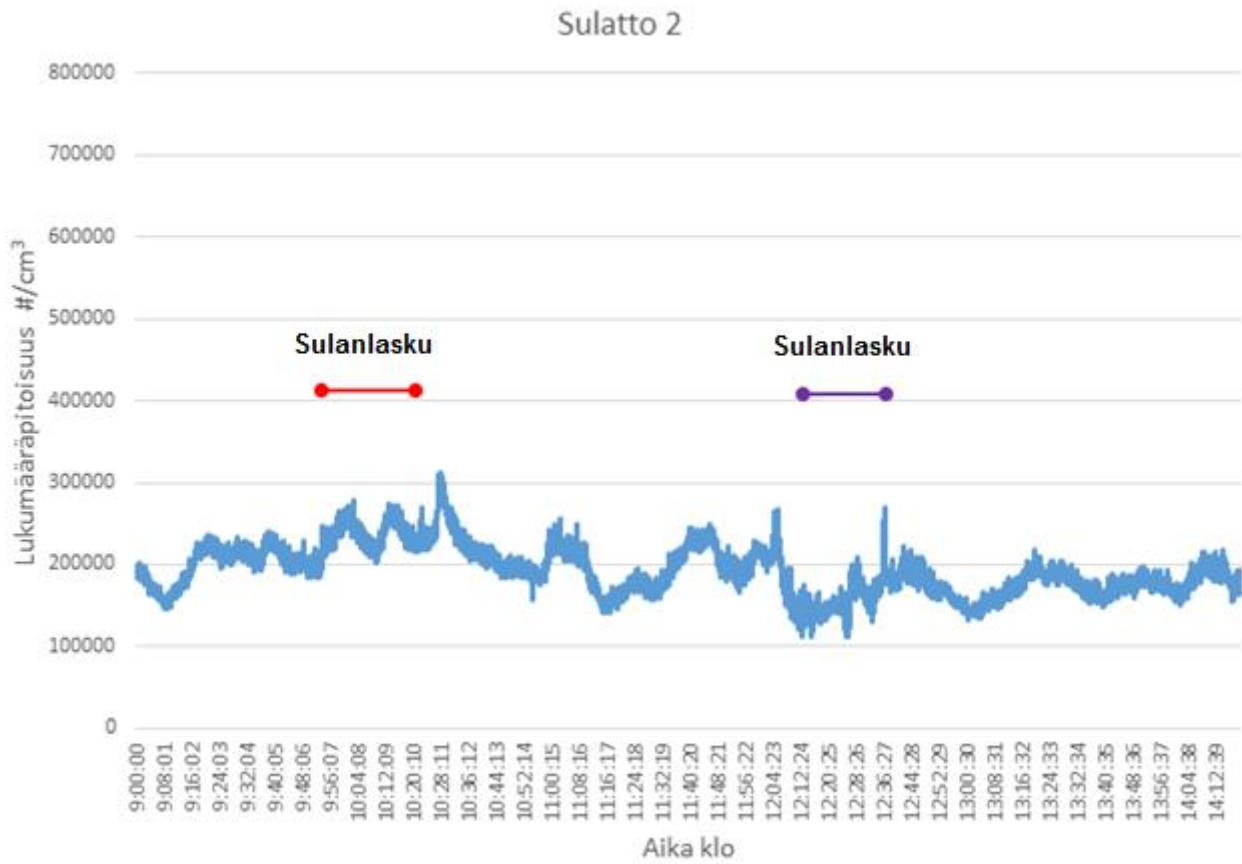
<u>Ferrokromisulatto 2</u>	Päämittaus VKU2 holvitaso	Vaipan jatko-taso 4. krs.	VKU2 6. krs.	Valvomo
alveolijae, mg/m ³	0,15	0,25	0,2	
	0,16	0,37	0,25	
hengittyvä pöly, mg/m ³	0,28			
	0,3	0,6	0,6	
lkm-pitoisuus, kpl/cm ³	125000			33000
<u>Ferrokromisulatto 3</u>	Päämittaus 2. krs. holvitaso	Vaipan jatko-taso 4. krs.	Kylmäsyöte-siilo 6. krs.	Sulatto
alveolijae, mg/m ³	0,23	0,16	0,16	
	0,34	0,11	0,29	
hengittyvä pöly, mg/m ³	0,6			
	0,5	0,2	0,5	
lkm-pitoisuus, kpl/cm ³	88200			9600



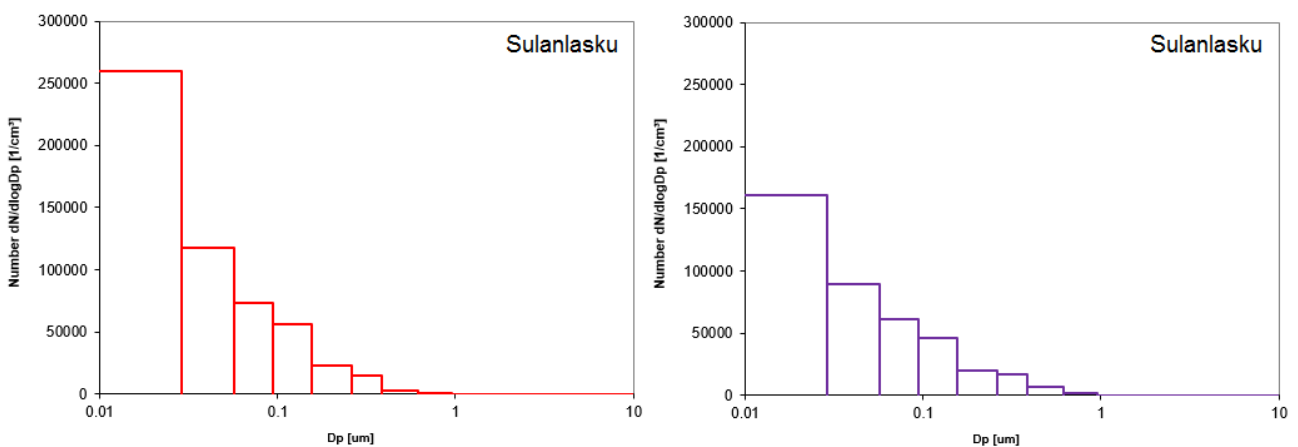
Kuva 16. Hiukkasten (0,01- 10 μm) lukumääräpitoisuuden vaihtelu yhden työpäivän aikana sulatossa 3 ns. holvitasolla.



Kuva 17. Hiukkasten (0,01- 10 μm) kokojakauma sulanlaskujen aikana sulatossa 3 ns. holvitasolla.



Kuva 18. Hiukkasten (0,01- 10 μm) lukumääräpitoisuuden vaihtelu työpäivän aikana sulatossa 2 ns. holvitasolla.



Kuva 19. Hiukkasten (0,01- 10 μm) kokojakauma sulanlaskujen aikana sulatossa 2 ns. holvitasolla.

4 TULOSTEN TARKASTELU JA POHDINTA

4.1 Työympäristön terveysriskien arviointi

4.1.1 Hiukkaset

4.1.1.1 Alveolijakeisen ja hengittyvän pölyn terveysvaikutukset

Eläinkokeiden perusteella on esitetty, että vähätehoisille, niukkaliukoisille hiukkasille altistuminen suurilla pitoisuuksilla aiheuttaa etenevää keuhkojen puhdistuman heikentymistä, jonka taustalla on alveolisten makrofagien täyttyminen ja toimintakyvyn menetys (Morrow 1988, Pauluhn 2011). Tämä vaikutus liittyy nimenomaan hienojakoiseen, keuhkoissa keuhkorakkulatasolle menevään pölyyn (alveolijae), jonka keskimääräinen aerodynaaminen läpimitta on alle 4 µm. Rotilla tämän keuhkopuhdistuman heikkenemisen on havaittu aiheuttavan kroonista tulehdusta, epiteelisolukon liikakasvua, mutaatioita ja lopulta keuhkokasvaimia. Rotat ovat kuitenkin ihmistä herkempiä näille vaikutuksille eikä ihmisillä ole esimerkiksi osoitettu lisääntyneitä keuhkosyöpärisiä altistuttaessa vähätehoisille niukkaliukoisille pölyille. On esitetty, että tämä tapahtumaketju rotilla alkaa altistumisen ylittäessä tason $0,55 \mu\text{l}/\text{m}^3$ aineen tiheys, joka on ns. vaikutuseton annostaso (NOAEC) vähätehoisille, niukkaliukoiselle pölylle (Pauluhn, 2011). Tämä tarkoittaisi siis $0,55 \text{ mg}/\text{m}^3$ pitoisuutta aineella, jonka tiheys on $1 \text{ g}/\text{cm}^3$. Tähän arvioon perustuu Saksan MAK-komission suositus vähätehoisen, niukkaliukoisen alveolijakeisen pölyn terveysperusteisesta raja-arvosta $0,3 \cdot [\text{tiheys}] \text{ mg}/\text{m}^3$ (DFG, 2012). Arvioon liittyy kuitenkin monia epävarmuuksia ja sitä on myös kritisoitu vahvasti (Morfeld ym., 2015). Vaikka tämä arvo perustuu eläinkokeisiin, joissa rotilla on havaittu kroonisen tulehduksen seurauksena lopulta jopa keuhkokasvaimia, ei tästä voi tehdä johtopäätöstä, että myös ihmisillä näiden altistumistasojen yläpuolella olisi riski keuhkosyövälle – näin ei todennäköisesti ole.

Ihmisellä pitkäaikainen altistuminen suurille alveolijakeisen pölyn pitoisuuksille on yhdistetty lisääntyneeseen keuhkohtaumataudin riskiin (KAT, engl. COPD, chronic obstructive pulmonary disease) (Omland ym. 2014). KAT:lle tyypillistä on hitaasti etenevä, pääosin korjaantumaton hengitysteiden ahtauma ja keuhkojen hidastunut uloshengitysvirtaus (Keuhkosairaudet-Diagnostiikka ja hoito 2013). Sairauteen liittyy pahenemisvaiheita kuten keuhkoputken tulehduksia (bronkiitti), joiden seurauksena keuhkojen toimintakyky huonontuu pysyvästi. Sairaus ilmenee ja oireilee eri tavalla eri ihmisillä, mutta sen tyypillisimpiä oireita ovat yskä, lisääntynyt limaneritys ja hengenahdistus rasituksen aikana. KAT:ia sairastavalle voi kehittyä keuhkolaajentuma (keuhkoemfyseema) ja osalla sairastuneista on myös astma. Edennyt KAT voi johtaa ennenaikaiseen kuolemaan. USA:n ja Iso-Britannian hiilikaivoksissa työskentelevillä keskimääräinen altistuminen alveolijakeiselle pölylle pitoisuudella $1,0 \text{ mg}/\text{m}^3$ työuran aikana vastasi 19–24 keskivaikeaa KAT-tapausta ($<80 \% \text{ FEV}_1$)/1000 työntekijää kohden sekä 4–7 vaikeaa KAT-tapausta ($<65 \% \text{ FEV}_1$)/1000 työntekijää kohden 65 vuoden iässä (NIOSH 2011). Brusken ja kumppaneiden (2013) tekemän meta-analyysin mukaan keuhkohtaumataudin riski nousi 7 %:lla aina $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ alveolijakeista pölyä kohti. Keuhkojen sekuntikapasiteetti (FEV_1) laski keskimäärin 1.6 ml jokaista $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ -vuotta kohden. Tämä tarkoittaa työuran (40 v) pituisessa altistumisessa $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ keskimääräisille pitoisuuksille yhteensä 64 ml laskua ja $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ pitoisuuksille 320 ml laskua. Vaikka lasku on vähäisempi kuin esimerkiksi iän mukanaan tuoma vuosittainen keuhkofunktion lasku (15–20 ml/v eli 600–800 ml/40 v), on sillä merkitystä kansanterveydellisestä näkökulmasta tarkasteltuna. Yksilötasolla, esimerkiksi terveystarkastuksissa, tämän tasoisen pölyaltistumisen vaikutuksia keuhkohtaumataudin riskiin voi kuitenkin olla vaikea havaita mm. iän aiheuttaman keuhkofunktiolaskun takaa.

Hienojakoista pölyä karkeampi, ns. hengittyvä pöly, saattaa aiheuttaa ärsytystä ylähengitysteissä. Koska se on kooltaan suurempaa, se ei etene hengitysteissä keuhkoputkistoon. Kroonisen keuhkoputkenputkentulehduksen riskin on kuvattu kasvavan hengittyvän pölyn pitoisuuksien kasvaessa tasolle $2,5\text{--}6 \text{ mg}/\text{m}^3$ (DFG, 1983, Oxman ym. 1993), mutta koska krooninen keuhkoputkentulehdus on keuhkoputkiston sairaus, sen ilmaantumiseen vaikuttaa ensisijaisesti se, kuinka paljon kyseisestä pölystä on hienojakoisempaa (alveolijakeen tai ns. keuhko- eli

torakaalijakeen pölyä). Täten alveolipölyn pitoisuus on oleellisempi markkeri esim. kaivospölyn hengitystievaikutusten kannalta.

4.1.1.2 Terveysriskien arviointi kaivoksessa

Taulukoon 6 on koottu työntekijöiden keskimääräiset altistumistasot alveolijakeiselle pölylle maanalaisella kaivoksella ja avolouhoksella. Keksimääräiset pitoisuudet jäävät kaikkialla alle 1 mg/m^3 . Brusken ym. (2013) meta-analyysistä johdetun annosvastesuhteen perusteella $<1 \text{ mg/m}^3$ altistumistasolla vaikutukset keuhkofunktion ovat vähäiset ($<1,6 \text{ ml/v}$). Mikäli altistumistasot saadaan pysymään tällä tasolla, työperäisen keuhkohtaumataudin riski myös maanalaisessa kaivoksessa työskenneltäessä on pieni.

Mitattuja tasoja voidaan verrata myös saksalaisten eläinkokeista johdettuun raja-arvoon $0,3 \cdot [\text{tiheys}] \text{ mg/m}^3$. Ottaen huomioon, että maanalaisessa kaivoksessa syntyvä hienojakoinen pöly on pääosin kivipölyä, jonka tiheys on noin $2\text{--}3 \text{ mg/m}^3$, raja-arvo kaivospölylle olisi $0,6 \text{ mg/m}^3$. Vaikka tähän saksalaisten suositusarvoon liittyy huomattavia tieteellisiä epävarmuuksia, epidemiologiset tutkimukset huomioon ottaen voidaan katsoa, että tämän arvon alapuolella pysyttäessä altistumiseen liittyvä keuhkovaikutusten riski on todennäköisesti vähäinen. Tässä hankkeessa mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin tätä tasoa tai sen alle, joten myös tämän vertailun perusteella voidaan todeta, että hienojakoiselle pölylle altistuminen näissä tehtävissä ei todennäköisesti aiheuta merkittävää terveysriskiä. Ottaen kuitenkin huomioon myös ylimmät mitatut pitoisuudet ($>1 \text{ mg/m}^3$ työnjohtajalla ja lastausajoneuvon kuljettajalla maanalaisessa kaivoksessa) kannattaa pölyntorjuntaan kiinnittää jatkossakin huomiota keuhkovaikutusten riskin minimoimiseksi.

Hengittyvän pölyn pitoisuudet maanalaisessa kaivoksessa olivat pääosin samaa tasoa kuin alveolijakeisenkin pölyn (taulukko 7), eikä näihin hengittyvän pölyn pitoisuuksiin katsota liittyvän erityisiä terveysriskejä. Ainoastaan avolouhoksen rikastamossa hengittyvän pölyn pitoisuudet nousivat lähelle tasoa 2 mg/m^3 , mutta näilläkin tasoilla terveysriskien katsotaan olevan matalat, mikäli alveolipölyn pitoisuudet pysyvät taulukossa 6 kuvatulla matalalla tasolla.

Taulukko 6. Työntekijöiden altistuminen alveolijakeiselle pölylle maanalaisessa kaivoksessa ja avolouhoksessa.

	Keskiarvo- pitoisuus, mg/m^3	Ylin mitattu pitoisuus, mg/m^3	Mittausten lukumäärä
Maanalainen kaivos, fossiilinen dieselpolttoaine			
työnjohtaja	0,6	1,1	4
lastausajoneuvon kuljettaja	0,6	1,3	4
kuorma-auton kuljettaja	0,3	0,3	2
Maanalainen kaivos, NEXBTL-polttoaine			
työnjohtaja	0,2	0,2	1
lastausajoneuvon kuljettaja	0,4	0,5	2
kuorma-auton kuljettaja	0,3	0,3	2
Avolouhos, fossiilinen dieselpolttoaine			
rikastamon työntekijä	0,4	0,5	2
lastausajoneuvon kuljettaja	0,1	0,1	2
dumpperin kuljettaja	0,1	0,1	2

Taulukko 7. Työntekijöiden altistuminen hengittyvälle pölylle maanalaisessa kaivoksessa ja avolouhoksessa.

	Keskiarvo- pitoisuus, mg/m ³	Ylin mitattu pitoisuus, mg/m ³	Mittausten lukumäärä
Maanalainen kaivos, fossiilinen dieselpolttoaine			
työnjohtaja	0,6	0,8	2
lastausajoneuvon kuljettaja	0,6	0,8	2
kuorma-auton kuljettaja	0,3	0,3	2
Maanalainen kaivos, NEXBTL-polttoaine			
työnjohtaja	0,3	0,3	1
lastausajoneuvon kuljettaja	0,6	0,6	2
kuorma-auton kuljettaja	0,3	0,3	2
Avolouhos, fossiilinen dieselpolttoaine			
rikastamon työntekijä	1,9	1,9	2
lastausajoneuvon kuljettaja	0,1	0,1	2
dumpperin kuljettaja	0,1	0,1	2

4.1.2 Dieselpakokaasut

4.1.2.1 Dieselpakokaasujen terveysvaikutukset

Lyhytaikaisen altistumisen vaikutukset

Dieselpakokaasu voi ärsyttää silmiä ja hengitysteitä. Vapaaehtoisilla tehdyissä kokeissa kahden tunnin altistuminen dieselpakokaasuille pitoisuudessa 100 µg/m³ (hiukkaset) ja 0,2 ppm NO₂ aiheutti lievää nenän, kurkun ja silmien ärsytystä osalla altistuneista (Mudway ym. 2004). Selviä ärsytysvaikutuksia havaittiin pitoisuudessa 300 µg/m³ (hiukkaset) ja 1,3 ppm NO₂ (Wierzbicka ym. 2014).

Dieselpakokaasualtistumisen välittömiä vaikutuksia hengitysteihin ja verenkiertoelimistöön on selvitetty useissa vapaaehtoisilla tehdyissä tutkimuksissa. Terveillä koehenkilöillä, joita altistettiin kahden tunnin ajan laimennetulle jälkikäsittelemättömälle dieselpakokaasulle pitoisuudessa 100 µg/m³ (hiukkaset) ja 0,2–0,4 ppm NO₂, havaittiin lievä nousu neutrofiilien määrässä yläkeuhkoputkien alueen keuhkokuuhteessa sekä kohonnut hengitystieresis-tanssi (Stenfors ym. 2004; Mudway ym. 2004; Behndig ym. 2006; 2011). Muutoksia verisuonten toiminnassa on raportoitu terveillä koehenkilöillä 1–2 tunnin altistumisessa pitoisuudessa 250–350 µg/m³ (hiukkaset) (Barath ym. 2010; Lucking ym. 2011; Mills ym. 2005; 2011; Tornqvist ym. 2007). Muutoksia verisuonten toiminnassa ei ole havaittu pakokaasulla, josta hiukkaset on poistettu hiukkassuodattimella (Lucking ym. 2011; Mills ym. 2011).

Myös lyhytaikaisen tyypidioksidialtistumisen vaikutuksia hengitysteihin on tutkittu lukuisissa vapaaehtoisilla tehdyissä kokeissa (SCOEL 2013). Kokeessa, jossa terveitä koehenkilöitä altistettiin kolmen tunnin ajan tyypidioksidille pitoisuudessa 0,6 ja 1,5 ppm NO₂, havaittiin hyvin lievä, annoksesta riippuva nousu neutrofiilien määrässä yläkeuhkoputkien alueen keuhkohuuhteessa (Frampton ym. 2002). Altistumistasolla 1,5 ppm neutrofiilien määrä keuhkohuuhteessa korreloi koettujen lievien hengitystieoireiden kanssa.

Pitkäaikaisen altistumisen vaikutukset

Työperäinen altistuminen dieselpakokaasuille on liitetty kohonneeseen keuhkosityöpärisikin useissa epidemiologisissa tutkimuksissa ja meta-analyyseissä (Attfield ym. 2012; Silverman ym. 2012; Garshick ym. 2008; 2012; Laden ym. 2006; Pintos ym. 2012; Villeneuve ym. 2011; Gustavsson ym. 2000; Olsson ym. 2011; Lipsett ja Campleman 1999; Bhatia ym. 1998). Esimerkiksi Yhdysvalloissa toteutetussa laajassa kaivostyöntekijöitä koskeneessa tutkimuksessa keuhkosityöpäkuolleisuus korreloi kumulatiiviseen dieselpakokaasualtistumisen (alveolijakeen alkuainehiili) kanssa (Attfield ym. 2012; Silverman ym. 2012; 2014). Keuhkosityöpäkuolleisuuden riskisuhde eniten altistuneessa ryhmässä ($\geq 536 \mu\text{g EC}/\text{m}^3\text{-vuotta}$) oli 2,8 (95 % luottamusväli 1,3–6,3) verrattuna vähiten altistuneeseen ryhmään ($< 3 \mu\text{g EC}/\text{m}^3\text{-vuotta}$).

Vermeulen ym. (2014) laski dieselpakokaasualtistumiseen liittyvän keuhkosityöpärisikin kolmen kvantitatiivista annos-vastetietoa tuottaneen epidemiologisen tutkimuksen pohjalta (Garshick ym. 2002; Silverman ym. 2012; Steenland ym. 1998). Näiden tutkimusten perusteella mallinnettu kumulatiivisen dieselpakokaasualtistumisen ja keuhkosityöpärisikin suhdetta (RR) kuvaava yhtälö oli

$$\ln RR = 0,00098 * \mu\text{g EC}/\text{m}^3\text{-vuotta} \quad (95 \% \text{ luottamusväli } 0,00055\text{--}0,0014 * \mu\text{g EC}/\text{m}^3\text{-vuotta}) \quad (1)$$

Tällä yhtälöllä laskettuna työperäinen altistuminen 45 vuoden ajan dieselpakokaasuille altistumistasoilla 1, 10 ja 25 $\mu\text{g EC}/\text{m}^3$ aiheuttaisi yhteensä 17, 200 ja 689 ylimääräistä syöpäkuolemaa 10 000 työntekijää kohti 80 ikävuoteen mennessä (Vermeulen ym. 2014). Keuhkosityöpärisikin arviointiin näitä tasoja selvästi matalammilla tai korkeammilla kumulatiivisilla altistumistasoilla liittyy kuitenkin huomattavia epävarmuuksia.

Dieselpakokaasualtistuminen on joissakin tutkimuksissa liitetty myös kohonneeseen riskiin sairastua virtsarakon syöpiin (IARC 2013).

4.1.2.2 Terveysriskien arviointi kaivoksissa

Taulukossa 8 on esitetty luvussa 3 esitettyjen mittaustulosten perusteella tehty arvio työntekijöiden keskimääräisistä altistumistasoista dieselpakokaasuille määritettynä pakokaasuhiukkasten sisältämänä alkuainehiilenä (dieselnoki) maanalaisessa kaivoksessa ja avolouhoksessa.

Dieselpakokaasualtistumisen aiheuttama ylimääräisten keuhkosityöpätapausten määrä altistuvilla työntekijöillä fossiilisia dieselpolttoaineita käytettäessä arvioitiin Vermeulen ym. (2014) esittämän riskisuhteen perusteella, huomioiden keuhkosityövän taustaesiintyvyys suomalaisessa väestössä seuraavan yhtälön avulla:

$$T = [P * (RR-1) / (P * RR-1) + 1] * V \quad (2)$$

jossa T = ylimääräisten keuhkosityöpätapausten määrä vuodessa, P = altistuvien työntekijöiden määrä suhteessa työikäisen väestön määrään, RR = tarkasteltavaan altistumistasoon liittyvä riskisuhde ja V = keuhkosityövän taustaesiintyvyys väestössä. Arvioinnissa käytettiin vuoden 2013 väestötietoja: työikäisen väestö (15–64 vuotta) 3 499 702 henkilöä ja keuhkosityövän esiintyvyys 2572 tapausta vuodessa (Tilastokeskus 2014, Suomen Syöpärekisteri 2015).

Taulukossa 9 on esitetty taulukon 8 tietojen ja yhtälöiden (1) ja (2) perusteella laskettu dieselpakokaasualtistumisen aiheuttama laskennallinen keuhkosyöpäriski 20 vuoden työperäisessä altistumisessa kaivostyössä. Laskennallinen syöpäriski fossiilisia dieselpolttoaineita käytettäessä oli maanalaisessa kaivoksessa mitatuilla altistumistasoilla noin 0,4–1,4 ylimääräistä syöpätapausta 1000 altistuvaa työntekijää kohti vuodessa (riski $4\text{--}14 \cdot 10^{-4}$) ja avolouhoksessa noin 0,02 ylimääräistä syöpätapausta 1000 altistuvaa työntekijää kohti vuodessa (riski $0,2 \cdot 10^{-4}$). Taulukossa 9 on esitetty myös laskennallinen syöpäriski maanalaisessa kaivoksessa NEXBTL-polttoainetta käytettäessä. Näihin NEXBTL-polttoainetta koskeviin arvioihin sisältyy kuitenkin epävarmuutta, koska arvion taustalla olevat riskisuhteet perustuvat fossiilisiin dieselpolttoaineisiin. Arviot syöpäriskin suuruudesta on laskettu vain 20 vuoden työuran pituudelle siksi, että 40 vuoden arvioon olisi liittynyt merkittävää epävarmuutta johtuen ekstrapoloinnista alkuperäisten epidemiologisten tutkimusten kuvaamien kumulatiivisten altistumistasojen ulkopuolelle.

Mittaustulosten perusteella arvioituihin altistumistasoihin maanalaisessa kaivoksessa liittyy kohtalainen laskennallinen keuhkosyöpäriski, minkä vuoksi altistumisen hallintaan tulee kiinnittää huomiota. Avolouhoksessa pakokaasualtistumiseen liittyvä keuhkosyöpäriski on pieni. Riskisuhteita tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava epävarmuudet, jotka liittyvät esimerkiksi altistumisen arviointiin taustalla olevissa epidemiologisissa tutkimuksissa sekä annos-vastekuvaajan muotoon. Lisäksi altistuminen taustalla olevissa tutkimuksissa on tapahtunut useiden vuosikymmenten aikana, eikä riskisuhde siksi suoraan kuvaa modernien dieselmoottorien jälkikäsiteltyihin pakokaasuihin mahdollisesti liittyvää syöpäriskiä.

NEXBTL-polttoaineen käyttö näytti Työterveyslaitoksen mittaustulosten perusteella vähentävän jonkin verran työntekijöiden altistumista dieselnoelle, mutta varmaa johtopäätöstä on vaikea tehdä mittausten pienen lukumäärän takia (taulukko 8). Vastaavaa laskua ei havaittu pakokaasuhiukkasten sisältämän orgaanisen hiilen osalta, vaikka laboratoriokokeissa NEXBTL-polttoaine on vähentänyt myös orgaanisen hiilen emissioita (Na ym. 2015; Heikkilä ym. 2012). NEXBTL-polttoaineen on arveltu vähentävän dieselpakokaasualtistumiseen liittyvää keuhkosyöpäriskiä vähentämällä mutageenisten ja karsinogeenisten yhdisteiden (mm. PAH-yhdisteet) pitoisuutta pakokaasuissa. PAH-yhdisteiden mitatut pitoisuudet maanalaisessa kaivoksessa olivat kuitenkin hyvin pieniä myös fossiilisia polttoaineita käytettäessä: bentso(a)pyreenin pitoisuus suodatinnäytteissä jäi kaikissa mittauksissa alle määritysrajan ($<0,004 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Pyreeniä lukuun ottamatta myös muiden 4-6-renkaisten PAH-yhdisteiden pitoisuus jäi kaikissa mittauksissa alle määritysrajan. PAH-yhdisteiden pitoisuus alitti Työterveyslaitoksen epidemiologisten tutkimusten perusteella asettaman tavoitetason ($0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 h) bentso(a)pyreeninä mitattuna). Tällä tasolla PAH-altistumiseen liittyvän laskennallisen syöpäriskin on arvioitu olevan noin 1 ylimääräinen syöpä 10000 altistunutta kohden (Työterveyslaitos 2010). Spesifisesti PAH-altistumiseen liittyvä syöpäriski kaivoksissa mitatuilla tasoilla on siis hyvin pieni sekä fossiilista dieselpolttoainetta että NEXBTL:ää käytettäessä.

Typpidioksidin keskipitoisuus maanalaisessa kaivoksessa oli noin 0,2 ppm (vaihteluväli 0–0,5 ppm) fossiilisia dieselpolttoaineita käytettäessä ja noin 0,1 ppm (0–0,4 ppm) NEXBTL-polttoainetta käytettäessä. Mitatut typpidioksidipitoisuudet ovat matalia, eikä niiden oleteta aiheuttavan haittaa työntekijöiden terveydelle (SCOEL 2013).

Yhteenvedona dieselpakokaasualtistumiseen liittyvistä terveysriskeistä voidaan todeta, että mittaustulosten perusteella arvioituihin altistumistasoihin maanalaisessa kaivoksessa liittyy kohtalainen laskennallinen keuhkosyöpäriski. Avolouhoksessa keuhkosyöpäriski on pieni. Maanalaisessa kaivoksessa mitatuilla korkeimmilla altistumistasoilla työntekijät saattavat kokea myös lievää silmien ja ylähengitysteiden ärsytystä. Muiden terveysvaikutusten todennäköisyys on pieni.

Taulukko 8. Työntekijöiden altistuminen dieselpakokaasuhiukkasille (dieselnoki (alkuainehiili, EC), orgaaninen hiili (OC) ja kokonaishiili (TC)) maanalaisessa kaivoksessa ja avolouhoksessa.

	EC, keskiarvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	EC, ylin pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OC, keskiarvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TC, keskiarvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mittausten lukumäärä
Maanalainen kaivos, fossiilinen polttoaine					
työnjohtaja	51*	-	82*	133*	11
lastausajoneuvon kuljettaja	56	173	123	179	5
kuorma-auton kuljettaja	24	26	34	60	2
Maanalainen kaivos, NEXBTL-polttoaine					
työnjohtaja	35*	-	95*	130*	4
lastausajoneuvon kuljettaja	33	37	162	195	2
kuorma-auton kuljettaja	25	26	40	66	2
Avolouhos, fossiilinen polttoaine					
lastausajoneuvon kuljettaja	1,5	1,8	25	26	2

* Työnjohtajan altistuminen arvioitu lastausajoneuvon ja THL-mittausauton mittaustulosten pohjalta.

Taulukko 9. Laskennallinen keuhkosityöpäriski 20 vuoden työperäisessä dieselpakokaasu-altistumisessa kaivos-työssä.

	Keskimääräinen altistumistaso ($\mu\text{g EC}/\text{m}^3$)	Kumulatiivinen altistuminen (μg EC/m^3 -vuotta)	Riskisuhde, RR (95 % luottamusväli)	Ylimääräisten syöpätapausten lukumäärä 1000 altistuvaa kohti vuodessa (95 % luottamusväli)
Maanalainen kaivos, fossiilinen polttoaine				
työnjohtaja	51	1028	2,7 (1,8–4,2)	1,3 (0,6–2,4)
lastausajoneuvon kuljettaja	56	1110	3,0 (1,8–4,7)	1,4 (0,6–2,7)
kuorma-auton kuljettaja	24	474	1,6 (1,3–1,9)	0,4 (0,2–0,7)
Maanalainen kaivos, NEXBTL-polttoaine				
työnjohtaja	35	690	2,0 (1,5–2,6)*	0,7 (0,3–1,2)*
lastausajoneuvon kuljettaja	33	664	1,9 (1,4–2,5)*	0,7 (0,3–1,1)*
kuorma-auton kuljettaja	25	507	1,6 (1,3–2,4)*	0,5 (0,2–0,8)*
Avolouhos, fossiilinen polttoaine				
lastausajoneuvon kuljettaja	1,5	29	1,03 (1,02–1,04)	0,02 (0,01–0,03)

* Arvioihin sisältyy merkittävää epävarmuutta, koska arvion taustalla olevat riskisuhteet perustuvat fossiilisiin dieselpolttoaineisiin.

4.1.3 Melu

Valtioneuvoston asetuksen (85/2006) mukaan päivittäisen melu-altistumisen ($L_{\text{EX},8\text{h}}$) alempi toiminta-arvo on 80 dB(A) ja äänen huippupaineen (L_{Cpeak}) alempi toiminta-arvo on 135 dB(C).

Melu-altistumisen ylempi toiminta-arvo on 85 dB(A) ja äänen huippupaineen ylempi toiminta-arvo on 137 dB(C).

Päivittäisen melu-altistumisen raja-arvo on 87 dB(A) ja äänen huippupaineen raja-arvo 140 dB(C). Raja-arvoja sovellettaessa otetaan huomioon työntekijän käyttämien kuulonsuojainten vaimentava vaikutus

Työssä, jossa työntekijän päivittäinen altistuminen melulle vaihtelee huomattavasti työpäivästä toiseen, voidaan raja-arvojen soveltamisessa käyttää päivittäisen arvon sijasta viikoittaista keskiarvoa.

Taulukko 10. Kuulolle haitallisiksi tunnetut ylempää toiminta-arvoa vastaavat melutasot ja niitä vastaavat päivittäiset melussaoloajat.

A-äänitaso (dB)	Melussaoloaika
85	8 h
88	4 h
91	2 h
94	1 h
97	30 min
100	15 min
103	8 min
106	4 min
109	2 min
112	1 min
115	alle 1 min

4.1.3.1 Maanalainen kaivos

Kaivoksen vuorotyönjohtajan meluallistuminen ylitti ylemmän toiminta-arvon kumpanakin mittauspäivänä. Toisena mittauspäivänä esiintyi myös ylemmän toiminta-arvon ylittävää impulssimelua. Kuulonsuojaimien vaimentava vaikutus huomioiden melun raja-arvot eivät kuitenkaan ylittyneet.

Lastarin meluallistuminen alitti ensimmäisenä mittauspäivänä niukasti ylemmän toiminta-arvon ollen kuitenkin alemmaa toiminta-arvoa suurempaa. Toisena mittauspäivänä allistuminen ylitti ylemmän toiminta-arvon. Kumpanakin mittauspäivänä esiintyi ylemmän toiminta-arvon ylittävää impulssimelua. Mikäli lastari on käyttänyt työssään kuulonsuojaimia, voidaan arvioida, että melun raja-arvot eivät ylittyneet.

Kuorma-auton kuljettajan meluallistuminen oli kumpanakin mittauspäivänä pienempää kuin alempi toiminta-arvo. Toisena mittauspäivänä esiintyi kuitenkin impulssimelua, joka oli tasoltaan ylemmän toiminta-arvon suuruista.

4.1.3.2 Avolouhos

Avolouhoksella kiviauton kuljettajien meluallistuminen alitti alemman toiminta-arvon kumpanakin mittauspäivänä. Toisena mittauspäivänä esiintyi kuitenkin alemman toiminta-arvon ylittävää impulssimelua.

Porarin meluallistuminen ylitti alemman toiminta-arvon ensimmäisenä mittauspäivänä, mutta ylitti sen toisena, jolloin mittaus suoritettiin eri poravaunussa. Kumpanakin päivänä esiintyi ylemmän toiminta-arvon ylittävää impulssimelua. Mikäli porarit ovat käyttäneet kuulonsuojaimia, voidaan arvioida, että melun raja-arvot eivät ylittyneet.

Lastauskoneen PC 5500 kuljettajan melualtistuminen ylitti kumpanakin päivänä melun alemman toiminta-arvon, mutta jäi ylemmän toiminta-arvon alapuolelle. Vertailuarvot ylittävää impulssimelua ei esiintynyt.

Murskaoperaattoreiden melualtistuminen ylitti ylemmän toiminta-arvon kumpanakin mittauspäivänä. Toisena mitauspäivänä esiintyi alemman toiminta-arvon tasoista impulssimelua. Murskaoperaattorit käyttivät kuulonsuojaimia, jolloin voidaan arvioida, että melualtistuksen raja-arvot eivät ylittyneet.

Myllyoperaattoreiden melualtistuminen ylitti ylemmän toiminta-arvon kumpanakin mittauspäivänä. Toisena mitauspäivänä esiintyi ylemmän toiminta-arvon tasoista impulssimelua. Murskaoperaattorit käyttivät kuulonsuojaimia, jolloin voidaan arvioida, että melualtistuksen raja-arvot eivät ylittyneet.

Vaahdotusoperaattorin melualtistuminen alitti alemman toiminta-arvon työskenneltäessä vaahdotushallissa, mutta oli ylempää toiminta-arvoa suurempaa toisena päivänä myllyhallissa työskenneltäessä. Työntekijät käyttivät kuulonsuojaimia, joten voidaan arvioida, että altistumisen raja-arvo ei ylittynyt. Impulssimelua ei esiintynyt.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDESUOSITUKSET

5.1 Ilman epäpuhtaudet

Pitkäaikaisen työperäisen altistumisen hienojakoiselle pölylle on todettu olevan yhteydessä lisääntyneeseen keuhkohtaumataudin riskiin. Nykyinen voimassaoleva työhygieeninen raja-arvo (10 mg/m^3) epäorgaaniselle pölylle ei ole riittävä suojaamaan näiltä vaikutuksilta. Tästä syystä pölyaltistumisen aiheuttamaa keuhkovaikutusten riskiä arvioitiin tässä hankkeessa uusimman epidemiologisen ja eläinkoenäytön perusteella. Hankkeessa mitatut keskimääräiset altistumistasot hienojakoiselle pölylle olivat sekä maanalaisessa kaivoksessa että avolouhoksella tasoa, jolla ei ole odotettavissa merkittäviä vaikutuksia työntekijöiden keuhkojen toimintaan. Maanalaisessa kaivoksessa pitoisuudet olivat luonnollisesti jonkin verran korkeampia kuin avolouhoksella. Olosuhteet kummallakin työpaikalla ovat todennäköisesti kuitenkin keskimääräistä paremmat, joten tuloksia ei voi suoraan yleistää koskemaan kaikkia kaivoksia. Muiden kaivosten työntekijät voivat siis altistua selvästi enemmän pölylle ja mm. sen sisältämillä syöpävaarallisille aineille (arseeni, asbesti, nikkeli ym.), mikäli pölyntorjunta ja suojautuminen ovat puutteellisia.

Työterveyslaitos laati tämän hankkeen pohjalta tavoitetasot hengittyvälle ja alveolijakeiselle pölylle kaivostyöhön (Työterveyslaitos 2016), joita voidaan jatkossa käyttää hyväksi pölyaltistumisen arvioinnissa. Nämä tavoitetasot ottavat huomioon edellä mainitun uusimman epidemiologisen ja eläinkoenäytön hienojakoisen, muutoin vähätehoisen pölyn keuhkovaikutuksista.

Pölyntorjunnan yleisperiaatteiden mukaan pyritään ensisijaisesti estämään pölyn muodostuminen, mikä edellyttää vähemmän pölyä tuottavien työmenetelmien valitsemista. Tämän jälkeen pölyn syntymistä pyritään vähentämään esimerkiksi kastelulla, jolla pöly sidotaan mahdollisimman läheltä sen syntykohtaa. Kun pölyn muodostumista ei voida estää, sen leviämistä työmaa-alueella tulee rajata kotelointien ja kohdepoistojen avulla, joita täydennetään yleisilmanvaihdolla. Lisäksi työntekijän altistumista rajataan ajan ja paikan suhteen, esimerkiksi työkiertoilla ja rajoittamalla muiden työntekijöiden työskentelyä samoissa tiloissa. Koneiden ja ajoneuvojen käyttäjien altistumista vähennetään hyttejä tiivistämällä ja tuloilman suodatusta parantamalla. Pölyn leviäminen työmaa-alueen ulkopuolelle rajataan osastoimalla ja alipaineistamalla mahdollisuuksien mukaan. Hengityksensuojaimia käytetään silloin, kun muiden keinojen avulla työntekijöiden altistumista ei voida vähentää riittävästi.

Dieselpakokaasualtistuminen saattaa mittaustulosten perusteella tehdyn arvion mukaan lisätä keuhkosyövän riskiä maanalaisessa kaivoksessa. NEXBTL-polttoainetta käytettäessä keuhkosyöpäriski saattaa olla jonkin verran pienempi, mutta arvioon liittyy merkittävää epävarmuutta. Dieselpakokaasujen syöpävaarallisuuden vuoksi työntekijöiden altistuminen tulee joka tapauksessa rajoittaa niin vähäiseksi kuin teknisesti mahdollista. Tämä voidaan toteuttaa usealla tavalla, esimerkiksi polttoaineita, moottoriteknologiaa ja pakokaasujen jälkikäsittelytekniikkaa kehittämällä sekä ilmanvaihtoa tehostamalla. Myös dieselkoneiden säännöllisellä huollolla ja tarpeettoman tyhjäkäynnin minimoimisella on merkittävä vaikutus altistumiseen. Altistumisen hallinnassa voidaan hyödyntää Työterveyslaitoksen asettamia tavoitetasoja dieselpakokaasuille (Työterveyslaitos 2015).

Kaivosten pölyntorjuntaa ja työntekijöiden suojautumista on käsitelty tarkemmin mm. HIME-hankkeessa syntyneessä julkaisussa Asbestiriskien hallintaohjeet kaivoksille (Kähkönen ym. 2016). Kaivostyöntekijöiden altistumista asbestikuiduille voidaan vähentää pölyntorjunnan yleisperiaatteiden mukaisesti, eli mitä enemmän pölypitoisuuksia saadaan alennettua, sitä vähäisempää on yleensä myös asbestikuiduille altistuminen. Kyseisessä julkaisussa annetaan myös pölyntorjuntaesimerkkejä ja hyviä käytäntöjä altistumisen vähentämiseksi.

5.2 Melu

Tehtyjen mittausten perusteella useissa kaivostyöntekijöiden työtehtävissä (vuorotyönjohtaja, porari, murska- ja myllyoperaattorit) melualtistuminen ylittää asetuksen ylemmän toiminta-arvon, jolloin melun aiheuttamaa riskiä kuulovamman syntymiselle voidaan pitää merkittävänä. Osassa työtehtävistä (lastauskoneen kuljettaja) melualtistuminen ylitti asetuksen alemman toiminta-arvon, jolloin kuulovaurion riski on kohtalainen. Kuorma- ja kiviautojen kuljettajilla sekä vaahdotusoperaattorilla (vaahdotushallissa) altistuminen oli alempaa toiminta-arvoa pienempää, jolloin kuulovaurion riski on vähäinen. Useissa työtehtävissä esiintyi lisäksi vertailuarvot ylittävää impulsimelua, mikä nostaa kuulovaurion riskiä.

Tehtävissä, joissa melualtistuminen ylittää ylemmän toiminta-arvon, tarvitaan toimenpiteitä altistumisen alentamiseksi. Meluntorjunta pelkästään kuulonsuojaimien avulla ei ole tällöin riittävä toimenpide, vaan työnantajalla tulee olla laadittuna ja toimeenpantuna meluntorjuntaohjelma kyseisiä työtehtäviä koskien, tavoitteena työntekijöiden melualtistumisen vähentäminen mahdollisimman alhaiselle tasolle.

Työnantajan tulee laatia ja toimeenpanna meluntorjuntaohjelma koskien niitä työtehtäviä, joissa melualtistuminen on ylemmän toiminta-arvon suuruista tai ylittää sen. Työnantajan on otettava melualtistumisen ennaltaehkäisyssä ja vähentämisessä erityisesti huomioon seuraavat, asetuksen 85/2006 mukaiset seikat:

- 1) vähemmän melualtistumista aiheuttavat työmenetelmät;
- 2) sellaiset asianmukaiset työvälineet, jotka aiheuttavat työn luonne huomioon ottaen mahdollisimman vähän melua;
- 3) työvälineiden, työpaikan ja työpaikalla käytettävien laitteiden ja niihin liittyvien järjestelmien huolto- ja kunnossapito-ohjelmat;
- 4) työpaikkojen ja työpisteiden suunnittelu;
- 5) työntekijöiden opastaminen työvälineiden oikeaan ja turvalliseen käyttöön melulle altistumisen vähentämiseksi mahdollisimman alhaiselle tasolle;
- 6) melun tekninen vähentäminen esimerkiksi vaimennusta, eristystä, melusuojia, kapselointia tai ääntä absorboivaa kattamista käyttäen;
- 7) melualtistumisen keston ja voimakkuuden rajoittaminen;
- 8) työn suunnittelu siten, että riittävät lepoajat huomioon ottaen melualtistuminen mahdollisuuksien mukaan aika ajoin vähenee tai keskeytyy.

Työnantajan on myös annettava työntekijöiden käyttöön henkilökohtaiset kuulonsuojaimet ja valvottava niiden asianmukaista käyttöä. Lisäksi alueet, joilla altistuminen ylittää ylemmän toiminta-arvon, on merkittävä esim. oviin asennettavien kylttien avulla. Työnantajan tulee myös antaa työntekijöille tietoa ja koulutusta melusta, sen esiintymisestä ja haitoista, sekä torjunnasta.

Tehtävissä, joissa melualtistuminen vastaa ylempää toiminta-arvoa tai ylittää sen, on työntekijöiden käytettävä kuulonsuojaimia. Työntekijöiden tulee perehtyä suojainten käyttöohjeisiin ja varmistua siitä, että suojaimet asentuvat oikein (tiiviisti) korvaan tai korvan ympärille. Suojaimia tulee käyttää koko melussa oloaika. On suositeltavaa käyttää kuulonsuojaimia myös työtehtävissä, joissa melun alempi toiminta-arvo ylittyy.

Asetuksen 831/2005 mukaan, työntekijälle, jonka melualtistuminen vastaa päivittäiselle melualtistumiselle säädettyä ylempää toiminta-arvoa tai ylittää sen, on järjestettävä kuulontarkastus määräajoin. Työntekijälle, jonka melualtistuminen ylittää alemman toiminta-arvon, on järjestettävä mahdollisuus käydä kuulontarkastuksessa. Nämä tulee huomioida työntekijöiden terveystarkastusten suunnittelussa ja toteutuksessa.

LÄHTEET

Attfield MD, Schleiff PL, Lubin JH, Blair A, Stewart PA, Vermeulen R, Coble JB, Silverman DT. The Diesel Exhaust in Miners Study: The diesel exhaust in miners study: a cohort mortality study with emphasis on lung cancer. *Journal of the National Cancer Institute* 2012; 104: 869-883.

Barath S, Mills NL, Lundback M, Tornqvist H, Lucking AJ, Langrish JP, Soderberg S, Boman C, Westerholm R, Londahl J, et al. Impaired vascular function after exposure to diesel exhaust generated at urban transient running conditions. *Part Fibre Toxicol* 2010; 7: 19.

Behndig AF, Larsson N, Brown JL, Stenfors N, Helleday R, Duggan ST, Dove RE, Wilson SJ, Sandstrom T, Kelly FJ, et al. Proinflammatory doses of diesel exhaust in healthy subjects fail to elicit equivalent or augmented airway inflammation in subjects with asthma. *Thorax* 2011; 66 12-9.

Behndig AF, Mudway IS, Brown JL, Stenfors N, Helleday R, Duggan ST, Wilson SJ, Boman C, Cassee FR, Frew AJ, et al. Airway antioxidant and inflammatory responses to diesel exhaust exposure in healthy humans. *Eur Respir J* 2006; 27: 359-65.

Benbrahim-Tallaa L, Baan RA, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Guha N, Loomis D, Straif K. Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes. *Lancet Oncology* 2012; 13: 663-664.

Bhatia R, Lopipero P, Smith AH. Diesel exhaust exposure and lung cancer. *Epidemiology* 1998; 9: 84-91.

Bruske I, Thiering E, Heinrich J, Huster K, Nowak D (2013) Biopersistent granular dust and chronic obstructive disease: A systematic review and meta-analysis. *PLOS One* 8(11): e80977.

CEN, EN 481 Workplace atmospheres. Size fraction definitions for measurement of airborne particles. Brussels 1993.

DFG (1983) General Threshold Limit Value for Dust. The MAK Collection for Occupational Health and Safety. DOI: 10.1002/3527600418.mb0230stwd0053. Saatavissa: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.mb0230stwd0053/pdf>

DFG (2012) Allgemeiner Staubgrenzwert (A-Fraktion) (Granuläre biobeständige Stäube (GBS). The MAK Collection for Occupational Health and Safety. DOI: 10.1002/3527600418.mb0230stwd0053. Saatavissa: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.mb0230stwd0053/pdf>

Frampton MW, Boscia J, Roberts NJ, Jr., Azadniv M, Torres A, Cox C, Morrow PE, Nichols J, Chalupa D, Frasier LM, et al. Nitrogen dioxide exposure: effects on airway and blood cells. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 2002; 282: L155-65.

Garshick E, Laden F, Hart JE, Davis ME, Eisen EA, Smith TJ. Lung cancer and elemental carbon exposure in trucking industry workers. *Environ Health Perspect* 2012; 120: 1301-6.

Garshick E, Laden F, Hart JE, Rosner B, Davis ME, Eisen EA, Smith TJ. Lung cancer and vehicle exhaust in trucking industry workers. *Environ Health Perspect* 2008; 116: 1327-32.

Gustavsson P, Jakobsson R, Nyberg F, Pershagen G, Jarup L, Scheele P. (2000) Occupational exposure and lung cancer risk: a population-based case-referent study in Sweden. *Am J Epidemiol*; 152 32-40.

Heikkilä J, Happonen M, Murtonen T, Lehto K, Sarjovaara T, Larmi M, Keskinen J, Virtanen A. Study of Miller timing on exhaust emissions of a hydrotreated vegetable oil (HVO)-fueled diesel engine. *J Air Waste Manag Assoc* 2012; 62: 1305-1312.

IARC. Diesel and gasoline engine exhaust and some nitroarenes. International Agency for Research on Cancer, Lyon 2013.

ISO: ISO 7708: Air quality - Particle size fraction definitions for health-related sampling. Geneva 1995.

Jalava PI, Tapanainen M, Kuuspallo K, Markkanen A, Hakulinen P, Happonen MS, Pennanen AS, Ihalainen M, Yli-Pirilä P, Makkonen U, Teinilä K, Mäki-Paakkanen J, Salonen RO, Jokiniemi J, Hirvonen MR. Toxicological effects of emission particles from fossil- and biodiesel-fueled diesel engine with and without DOC/POC catalytic converter. *Inhal Toxicol* 2010; 22(Suppl 2): 48-58.

Keuhkosairaudet –Diagnostiikka ja hoito. Riitta Kaarteenaho, Pirkko Brander, Maija Helve, Vuokko Kinnula (toim.) 2013, Duodecim, Helsinki 504 s.

Kähkönen H, Lallukka H, Linnainmaa M, Aho P, Mäkelä E, Juntila S, Oksa P (2016) Asbestiriskien hallintaohjeet kaivoksille, Työterveyslaitos, 2016

Laden F, Hart JE, Eschenroeder A, Smith TJ, Garshick E. Historical estimation of diesel exhaust exposure in a cohort study of U.S. railroad workers and lung cancer. *Cancer Causes Control* 2006; 17: 911-9.

Lipsett M, Campleman S. Occupational exposure to diesel exhaust and lung cancer: a meta-analysis. *Am J Public Health* 1999; 89: 1009-17.

Lucking AJ, Lundback M, Barath SL, Mills NL, Sidhu MK, Langrish JP, Boon NA, Pourazar J, Badimon JJ, Gerlofs-Nijland ME, et al. Particle traps prevent adverse vascular and prothrombotic effects of diesel engine exhaust inhalation in men. *Circulation* 2011; 123: 1721-8.

Mills NL, Miller MR, Lucking AJ, Beveridge J, Flint L, Boere AJ, Fokkens PH, Boon NA, Sandstrom T, Blomberg A, et al. Combustion-derived nanoparticulate induces the adverse vascular effects of diesel exhaust inhalation. *Eur Heart J* 2011; 32: 2660-71.

Mills NL, Tornqvist H, Robinson SD, Gonzalez M, Darnley K, MacNee W, Boon NA, Donaldson K, Blomberg A, Sandstrom T, et al. Diesel exhaust inhalation causes vascular dysfunction and impaired endogenous fibrinolysis. *Circulation* 2005; 112 3930-6.

Morfeld P, Bruch J., Levy L, Ngiewih Y, Chaudhuri I, Muranko HJ, Myerson R, McCunney RJ (2015) Translational toxicology in setting occupational exposure limits for dusts and hazard classification—a critical evaluation of a recent approach to translate dust overload findings from rats to humans. *Particle and Fibre Toxicology*, 12:3, DOI10.1186/s12989-015-0079-3.

Morrow PE (1988) Possible mechanisms to explain dust overloading of the lungs. *Fundam Applied Toxicol* 10: 369-384.

Mudway IS, Stenfors N, Duggan ST, Roxborough H, Zielinski H, Marklund SL, Blomberg A, Frew AJ, Sandstrom T, Kelly FJ. An in vitro and in vivo investigation of the effects of diesel exhaust on human airway lining fluid antioxidants. *Arch Biochem Biophys* 2004; 423: 200-12.

Murtonen T, Aakko-Saksa P, Kuronen M, Mikkonen S, Lehtoranta K. Emissions with heavy-duty diesel engines and vehicles using FAME, HVO and GTL fuels with and without DOC+POC aftertreatment. *SAE Int. J. Fuels and Lubricants* 2010; 2(2): 147-166.

Murtonen, Riskien arviointi työpaikalla. VTT ja Sosiaali- ja terveysministeriö, Tampere 2007.

Na K, Biswas S, Robertson W, Sahay K, Okamoto R, Mitchell A, Lemieux S. Impact of biodiesel and renewable diesel on emissions of regulated pollutants and greenhouse gases on a 2000 heavy duty diesel truck. *Atmos Environ* 2015; 107: 307-314.

Olsson AC, Gustavsson P, Kromhout H, Peters S, Vermeulen R, Bruske I, Pesch B, Siemiatycki J, Pintos J, Bruning T, et al. Exposure to diesel motor exhaust and lung cancer risk in a pooled analysis from case-control studies in Europe and Canada. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 183: 941-8.

Oksa, P., Virtema, P., Linnainmaa, M., Tuomi, T., Sauni, R. ja Uitti, J. Työntekijöiden hengitystieoireet ja -sairaudet teräs- ja rautavalimoissa. Loppuraportti Työsuojelurahastolle. Työterveyslaitos, Tampere 2008.

Omland G, Wurtz ET ym. (2014) Occupational chronic obstructive disease: a systematic literature review. *Scand J Work Environ Health* 40: 19-35.

Oxman AD, Muir DC, Shannon HS (1993) Occupational dust exposure and chronic obstructive pulmonary disease. A systematic overview of the evidence. *Am rev Respir Dis* 148: 38-48.

Pauluhn J. (2011) Poorly soluble particulates: Searching for a unifying denominator of nanoparticles and fine particles for DNEL estimation. *Toxicology* 279: 176–188.

Pekkanen J. Elin- ja työympäristön riskit Suomessa. *Ympäristö ja Terveys* 2010; 41(3): 4-5.

Pintos J, Parent ME, Richardson L, Siemiatycki J. Occupational exposure to diesel engine emissions and risk of lung cancer: evidence from two case-control studies in Montreal, Canada. *Occupational and Environmental Medicine* 2012; 69: 787-92.

SCOEL. Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Nitrogen dioxide. SCOEL/SUM/53. Scientific Committee on Occupational Exposure Limit Values, Brussels 2013.

SFS-EN ISO 9612:2009: Acoustics - Determination of occupational noise exposure.

Silverman DT, Samanic CM, Lubin JH, Blair AE, Stewart PA, Vermeulen R, Coble JB, Rothman N, Schleiff PL, Travis WD, Ziegler RG, Wacholder S, Attfield MD. The diesel exhaust in miners study: a nested case-control study of lung cancer and diesel exhaust. *Journal of the National Cancer Institute* 2012; 104: 855-868.

Stenfors N, Nordenhall C, Salvi SS, Mudway I, Soderberg M, Blomberg A, Helleday R, Levin JO, Holgate ST, Kelly FJ, et al. Different airway inflammatory responses in asthmatic and healthy humans exposed to diesel. *Eur Respir J* 2004; 23: 82-6.

STM. HTP-arvot 2014. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Julkaisuja 2014:2. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki 2014.

Suomen Syöpärekisteri. Tilastot. Suomen syöpärekisteri, Helsinki 2015. Saatavissa: <http://www.cancer.fi/syopa-rekisteri/tilastot/>

Taxell P, Salonen RO, Ahonen I, Santonen T. Uutta tietoa dieselpakokaasujen terveyshaitoista ja niiden hallinnasta. *Ympäristö ja Terveys* 2012; 43(10): 36–42.

Taxell P, Santonen T. The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals and the Dutch Expert Committee on Occupational Safety. 149. Diesel engine exhaust. *Arbete och Hälsa*, 2015 (in press).

Terveystarkastukset työterveyshuollossa. Työterveyslaitos ja Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki 2005.

Tilastokeskus. Väestörakenne 2013. Tilastokeskus, Helsinki 2014. Saatavissa: <http://tilastokeskus.fi/til/vaerak/2013/index.html>

Tornqvist H, Mills NL, Gonzalez M, Miller MR, Robinson SD, Megson IL, Macnee W, Donaldson K, Soderberg S, Newby DE, et al. Persistent endothelial dysfunction in humans after diesel exhaust inhalation. *Am J Respir Crit Care Med* 2007; 176: 395–400.

Työterveyslaitos. PAH-yhdisteiden tavoitetasoperustelumuistio. Helsinki, Työterveyslaitos 2010. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/tavoitetasot>

Työterveyslaitos. Hengittävä ja alveolijakeinen pöly kaivoksissa, valimoissa ja betoniteollisuudessa. Tavoitetasoperustelumuistio. Helsinki, Työterveyslaitos 2016. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/tavoitetasot>

Työterveyslaitos. Dieselpakokaasujen tavoitetasoperustelumuistio. Helsinki, Työterveyslaitos 2015. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/tavoitetasot>

Valtioneuvoston asetus terveystarkastuksista erityistä sairastumisen vaaraa aiheuttavissa töissä, VNa 831/2005.

Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuville vaaroille, VNa 85/2006.

Vermeulen R, Silverman DT, Garshick E, Vlaanderen J, Portengen L, Steenland K. Exposure-response estimates for diesel engine exhaust and lung cancer mortality based on data from three occupational cohorts. *Environ Health Perspect* 2014; 122: 172-7.

Villeneuve PJ, Parent ME, Sahni V, Johnson KC, Canadian Cancer Registries Epidemiology Research G. Occupational exposure to diesel and gasoline emissions and lung cancer in Canadian men. *Environmental Research* 2011; 111: 727-35.

Wierzbicka A. et al. Detailed diesel exhaust characteristics including particle surface area and lung deposited dose for better understanding of health effects in human chamber exposure studies. *Atmospheric Environment* 2014; 86: 212–219.

Työterveyslaitos
Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health
PL 40, 00251 Helsinki
www.ttl.fi
ISBN 978-952-261-625-8 (PDF)